



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

MANIPULAČNÍ OPERACE S PRŮMYSLOVÝMI ROBOTY

MANIPULATION OPERATIONS WITH INDUSTRIAL ROBOTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK JAŠÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Radek Jašíček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Manipulační operace s průmyslovými roboty

v anglickém jazyce:

Manipulation operations with industrial robots

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzujte aktuální možnosti uchopování objektů s průmyslovými roboty. Zaměřte se na pneumatické a elektrické úchopné hlavice. S použitím průmyslového robotu KUKA a dostupných úchopných hlavic SCHUNK vytvořte demonstrační manipulační aplikaci s dostupnými objekty.

Cíle bakalářské práce:

1. Analyzujte a vlastními slovy popište aktuální možnosti pro uchopování objektů s průmyslovými roboty. Zaměřte se primárně na pneumatické a elektrické úchopné hlavice.
2. Analyzujte výhody a nevýhody pneumatických a elektrických úchopných hlavic a možnosti jejich řízení.
3. Vytvořte demonstrační manipulační aplikaci s objekty s využitím robotu KUKA a úchopných hlavic SCHUNK.

Seznam odborné literatury:

PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

WOLF, A., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks. Springer, 2005. 242 s. ISBN 978-3-540-27718-7

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 29.11.2012

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou manipulačních efektorů pro průmyslové roboty. Je v ní pojednáno o jednotlivých typech manipulačních efektorů s detailním rozбором elektrických a pneumatických efektorů a jejich vzájemným porovnáním na základě technických i ekonomických kritérií. Součástí práce je analýza manipulační operace s průmyslovým robotem spolu s vytvořením programu pro tuto operaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

koncový efektor, průmyslový robot, chapadlo, programování robota

ABSTRACT


This bachelor thesis deals with industrial robot grippers. It discusses various types of grippers detailing the electric and pneumatic and comparing them with each other based on technical and economic criteria. Part of this work is an analysis of a material handling operation with industrial robot along with the creation of a control program for this operation.

KEYWORDS

end effector, industrial robot, gripper, robot programming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JASÍČEK, R. *Manipulační operace s průmyslovými roboty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím uvedených zdrojů, odborné literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

V Brně dne: 22.5.2013

Radek Jašíček


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení a cenné rady, které mi byly poskytnuty při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za jejich podporu při studiu.

OBSAH

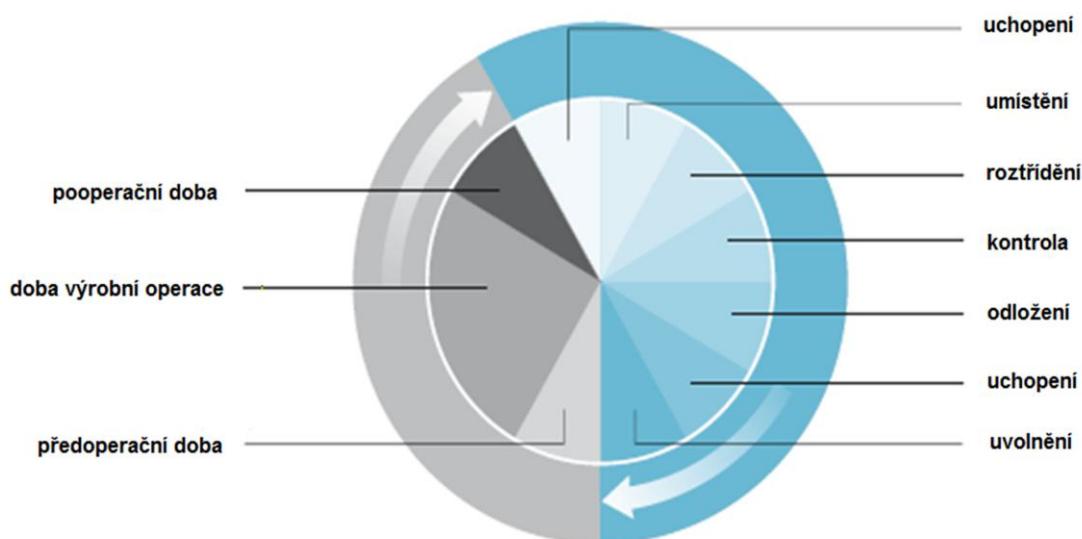
1 ÚVOD	11
2 UCHOPOVACÍ HLAVICE	13
2.1 Základní pojmy	13
2.2 Objekt manipulace	14
2.3 Geometrie efektoru a uchopovací síly	14
2.3.1 Uchopovací síly	15
2.3.2 Součinitel tření	15
2.3.3 Využití MKP při konstrukci chapadel	16
2.4 Rozdělení efektorů	16
3 MECHANICKÉ EFEKTORY	18
3.1 Počet úchopných prvků	19
3.2 Kinematické mechanismy efektorů	20
3.3 Elektrické efektory	21
3.3.1 Elektrické motory	21
3.3.2 Řízení elektrických efektorů	22
3.3.3 Rozbor vybraného efektoru	24
3.3.4 Adaptabilní elektrické efektory	25
3.4 Pneumatické efektory	26
3.4.1 Stavba pneumatického efektoru	26
3.4.2 Řízení	27
3.4.3 Rozbor vybraného efektoru	28
3.4.4 Úsporné ventily	29
3.5 Srovnání elektrických a pneumatických efektorů	30
3.5.1 Efekторы pro drobnou manipulaci	30
3.5.2 Srovnání efektorů pro vyšší hmotnosti	31
3.5.3 Použití elektrických a pneumatických efektorů	32
3.5.4 Cenové srovnání	34
3.5.5 Flexibilita	34
3.5.6 Budoucí vývoj	35
3.6 Hydraulické efekторы	36
4 VAKUOVÉ EFEKTORY	37
4.1 Tvorba vakua	38
4.2 Vakuové přísavky	38
4.2.1 Ploché přísavky	38

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

4.2.2 Měchové přísavky.....	39
4.2.3 Použití vakuových efektorů	39
5 MAGNETICKÉ EFEKTORY	40
5.1 Efektory s elektromagnety	40
5.2 Efektory s permanentními magnety	41
5.3 Výhody a nevýhody magnetických efektorů	41
6 SENZORY	42
7 VELETRH HANNOVER 2013.....	43
7.1 Roboty KUKA LWR	43
7.2 Humanoidní efektory	44
7.3 Inteligentní úchopná hlavice.....	45
8 MANIPULAČNÍ ÚLOHA	46
8.1 Popis úlohy	46
8.2 Příprava programu	46
8.3 Seznam proměnných.....	47
8.4 Seznam vstupů a výstupů.....	48
8.5 Hlavní program	48
8.6 Procedury	49
8.6.1 Procedura depaletizace	49
8.6.2 Procedura odkladání	49
8.7 Vývojový diagram	50
9 ZÁVĚR	51
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
11 SEZNAM SYMBOLŮ	54
12 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	55
13 SEZNAM TABULEK	57
14 SEZNAM PŘÍLOH	58

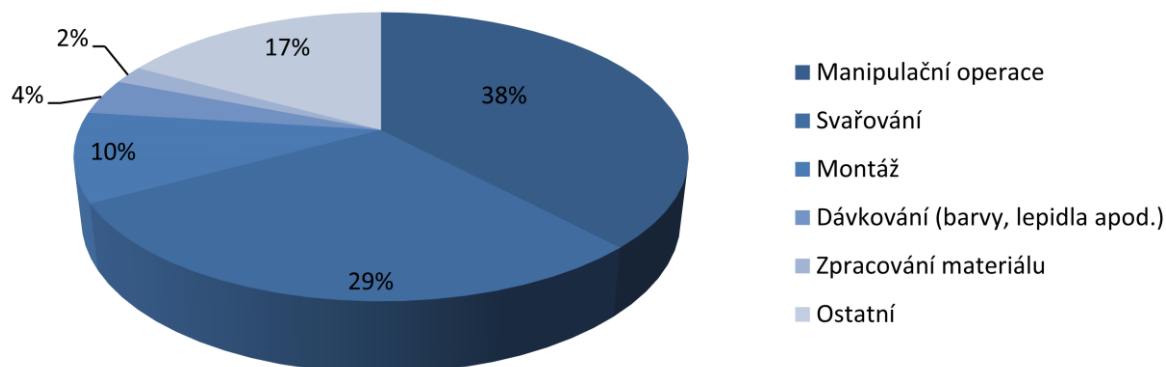
1 ÚVOD

Cílem rešeršní části této práce je porovnat současné možnosti v oblasti koncových efektorů průmyslových robotů pro manipulační operace se zaměřením na pneumatické a elektrické hlavice. Důvodů, proč byly zvoleny právě takové cíle, je celá řada. Průmyslová manipulace je, ač to nemusí být na první pohled patrné, alfou a omegou valné většiny všech výrobních procesů. Historicky nebyla manipulaci přidělována taková důležitost, jako vlastním výrobním operacím, avšak s postupem doby, která tlačí na zefektivňování výroby, rychlejší dodací lhůty, rychlejší obrat materiálu atd. se problém manipulace stává čím dál tím zajímavější otázkou. Dokladem toho budiž obrázek 1.1, který ukazuje porovnání časů potřebných k výrobní operaci, respektive k manipulaci. Je tedy zřejmé, že vhodnou optimalizací manipulačního procesu lze dosáhnout zvýšení ekonomičnosti celé výroby.



Obr. 1.1 Časový diagram výroby součásti [1]

Důležitost manipulačních efektorů dokládá jejich dominantní postavení v rámci rodiny robotických hlavic, mezi které dále patří např. svařovací, měřicí či dávkovací hlavice, což je patrné z grafu 1.2. Jednak to plyne ze samotné podstaty průmyslového robota, který je svou konstrukcí předurčen k manipulačním operacím a jednak k nutnosti hledat nové způsoby v oblasti automatizace manipulačních procesů, které by umožnily pokrýt stále větší a větší škálu těchto operací, po kterých je, a troufnu si říci, že v dalších letech bude, stále větší a větší poptávka.



Obr. 1.2 Rozdělení využití robotů podle typu operace [22]

Proto tedy vzhledem ke stále širším a širším možnostem uplatnění uchopovacích hlavice musí nutně docházet i k jejich vnitřní diferenciaci, kde různé druhy konstrukcí mohou nabídnout různé možnosti a efektivitu. Pneumatické a elektrické hlavice jsou ideálním dokladem tohoto diferenciačního procesu, kdy oba druhy zajišťují stejnou funkci, avšak s různým portfoliem výhod a nevýhod. Tento pomyslný souboj však činí zajímavým především to, že se jedná o nejpoužívanější typy manipulačních efektorů a také to, že není vždy zcela jednoznačné, který typ si pro tu kterou manipulační operaci vybrat a z toho plynoucí dilemata, jejichž alespoň částečná řešení jsou jednou z výzev této práce.

Cílem praktické části je vytvoření demonstrační manipulační aplikace s využitím robotu KUKA. Základním požadavkem pro vytvoření efektivní manipulační operace je především analýza vybrané operace, při které je nutno dbát na předcházení potenciálních bezpečnostních či procesních rizik. Takto analyzovanou operaci je nutno efektivně naprogramovat tak, aby ji bylo možno při změně vnějších podmínek parametricky měnit a doplňovat. Snahou tedy bude těchto vytyčených dílčích cílů při návrhu manipulační operace dosáhnout.

2 UCHOPOVACÍ HLAVICE

Výběr uchopovací hlavice je až posledním článkem při realizaci manipulační operace a příslušného robotizovaného pracoviště. O to je však tento výběr důležitější, neboť na něm z vysoké míry závisí produktivita celého systému a vzhledem k tomu, že se v mnoha případech nejedná o složité a drahé zařízení, může vznikat tendence tento výběr podcenit (jak se zpravidla dělo v minulosti, kdy byl zásadní význam připisován právě samotnému robotu a ne hlavici). Proto, aby výběr proběhl optimálně, je potřeba se seznámit s jednotlivými složkami manipulačního procesu a zaměřit se na jejich analýzu. [5]

Cílů pro implementaci robotizovaného pracoviště do výrobního systému může být mnoho. Může se jednoduše jednat o snížení nákladů výrobního procesu, kdy drahou manuální práci dělníka nahradí práce robota. Dalším faktorem může být nutnost opakovaně velmi přesné manipulace, zvýšení obratu výroby při zachování výrobního prostoru, práce v nebezpečných podmínkách nebo naopak práce v extrémně čistých podmínkách a desítky dalších možností.

Jak je vidět, důvodem pro použití robota je zejména nahrazení lidské práce, která je vykonávána prostřednictvím interakce rukou dělníka se součásti. A právě zde můžeme vidět důležitost problematiky uchopovacích hlavice, které jsou onou rukou, která tento pohyb vykonává a se součástí interaguje. Hlavním úkolem je tedy takový optimální výběr uchopovací hlavice a jejích periférií, který umožní nejen dosáhnout uchopovacích možností lidské ruky pro daný manipulační proces, ale tyto možnosti překonat. Aby k tomu bylo možno dospět, je třeba pochopit základní možnosti konstrukce uchopovacích hlavice a na základě této znalosti uskutečnit vhodný výběr. Další podkapitoly budou proto zaměřeny právě na toto rozdělení.

2.1 Základní pojmy

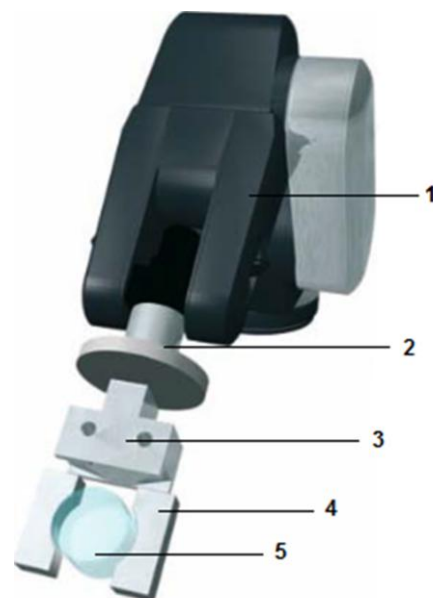
1 Manipulátor, který slouží k polohování hlavy vzhledem ke zvolenému souřadnému systému. Vykonává translační, rotační či složené pohyby.

2 Příruba jako spojovací článek uchopovací hlavy a manipulátoru.

3 Uchopovací hlava (také hlavice, efektor), tedy hlavní předmět této práce. Součástí této hlavy je pravidelně i pohonná jednotka (aktuátor), což může být např. elektrický motor či pneumatický válec s pístem, která je nezávislá na pohonné jednotce manipulátoru a slouží k pohonu chapadel.

4 Chapadla, která bezprostředně interagují s objektem manipulace působením síly dodávané aktuátorem, popřípadě jiným mechanicko-fyzikálním způsobem.

5 Objekt manipulace, což je součást či věc, která je během procesu manipulace pevně spojena s chapadly.



Obr. 2.1 Základní části robotického manipulátoru [1]

Mezi subsystémy se dále pravidelně řadí i různé senzory, případně výměnné systémy uchopovacích hlav. [1]

2.2 Objekt manipulace

Objekt manipulace spolu s okolními či předem definovanými podmínkami je výchozím bodem manipulačního procesu, od něhož se odvíjí, zda-li je vůbec technologicky možné manipulační proces automatizovat, jaký typ robotu může být zvolen a především jaké je nejvhodnější řešení uchopovací hlavy. Tabulka 2.1 ukazuje, na jaké parametry je potřeba se při analýze manipulačního procesu zaměřit.

Tab. 2.1 Vliv manipulované součásti na manipulační operaci [1]

Okolní podmínky uchopovací operace	Vlastnosti manipulované součásti	Součást při manipulační operaci
požadavky ekonomické efektivity	geometrie	pořadí
bezpečnostní opatření	tvar	vlastnosti při pohybu
požadavky pro instalaci	rozměry	přístupnost k součásti
teplota	rozměrové tolerance	manipulační tolerance
přívod energie	hmotnost	
požadavky čistoty prostředí	těžiště	
hygienické požadavky	povrch	
bezúdržbovost	materiál	
existence dalších objektů	konzistence	
proměnlivost součástí	chování součásti při manipulaci	
požadavky monitorování operace		

Je tedy vidět, že budou kladeny jiné požadavky při manipulaci v potravinářském průmyslu a jiné při manipulačních operacích s odlitky. Manipulace ve vlhkém a chladném prostředí bude vyžadovat jiné řešení než manipulace v prostředí se zvýšenou teplotou, a proto je vždy nutné před návrhem manipulační hlavy tyto podmínky analyzovat. Souhrnným požadavkem však bude optimalizace efektivity manipulačního procesu, kterou určuje čas vyhrazený pro uchopení a uvolnění OM, a do nějž často vstupuje taktéž variabilita součástí, se kterou je nutné se vypořádat vhodnou volbou efektoru umožňujícího manipulaci s různorodými součástmi, případně jeho možnou automatizovanou výměnu. Dále jsou u manipulované součásti určující její rozměry, které přímo určují, jaký typ efektoru lze použít, těžiště objektu, do kterého by měla být soustředěna uchopovací síla a také jakost povrchu, která rovněž vylučuje nebo značně omezuje použití některých typů hlavíc.

2.3 Geometrie efektoru a uchopovací síly

Geometrie chapadel a vlastnosti OM jsou spojené nádoby. Uchopovací síly přímo ovlivňuje hmotnost součásti, součinitel tření povrchu součásti její rozměry.

2.3.1 Uchopovací síly

Silový úchop	Tvarový úchop	
$F = \frac{m \cdot g}{2\mu} \left(1 + \frac{a}{g}\right) \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S$	$F_g = m \cdot (a+g) \cdot S$	$F_g = m \cdot (a+g) \cdot \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2}$
$F_g = \frac{5 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 0,1} \left(1 + \frac{6 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2}\right) \sin \frac{90^\circ}{2} \cdot 2$	$F_g = 5 \text{ kg} \cdot (6 \text{ m/s}^2 + 10 \text{ m/s}^2) \cdot 2$	$F_g = 5 \text{ kg} \cdot (6 \text{ m/s}^2 + 10 \text{ m/s}^2) \cdot \frac{\tan 45^\circ}{2} \cdot 2$
$F_g = 565,7 \text{ N}$	$F_g = 160 \text{ N}$	$F_g = 80 \text{ N}$

Obr. 2.2 Silový a tvarový úchop – porovnání [1]

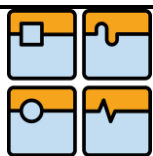
Při manipulačních operacích rozlišujeme dva základní druhy uchopení – tvarový a silový, a také tvarově-silový jako jejich kombinace. Silový úchop zajišťuje sevření součásti působením síly vyvinuté chapadly na součást a je z velké míry závislý na součiniteli tření, kdežto tvarovým úchopem chapadla obepínají součást způsobem znemožňujícím její vyklouznutí při použití menší uchopovací síly (všechny působící síly a momenty jsou orientovány proti chapadlu během celého manipulačního procesu). Pravidlem je, že při tvarovém úchopu je třeba vynaložit asi čtyřikrát menší sílu, než při úchopu silovém, avšak ne vždy je možné navrhnout pro danou aplikaci právě tento úchop z důvodů tvaru či jiných vlastností součásti. Porovnání jednotlivých druhů uchopení je znázorněno v obrázku 2.2, ze kterého jsou patrné jasné rozdíly mezi silovým a tvarovým úchopem. Možností často může být i použití kombinovaného úchopu. [1]

2.3.2 Součinitel tření

Význam součinitele tření při uchopovací operaci dokumentuje fakt, že výrobci cíleně využívají speciální materiály pro ty části chapadel, které se stýkají se součástmi. Jedná se zejména o materiály z různých druhů plastických či gumových hmot.

Tab. 2.2 Vliv materiálů na součinitel tření [2]

		Povrch součásti				
		ocel	mazaná ocel	hliník	mazaný hliník	guma, plast
Povrch chapadla	ocel	0.25	0.15	0.35	0.20	0.50
	mazaná ocel	0.15	0.09	0.21	0.12	0.30
	hliník	0.35	0.21	0.49	0.28	0.70
	mazaný hliník	0.20	0.12	0.28	0.16	0.40
	guma, plast	0.50	0.30	0.70	0.40	1.00



Výhodou tohoto přístupu je snížení potřebné uchopovací síly pro součást dané hmotnosti tam, kde není možné užít čistě tvarový úchop. Tím dochází ke snížení potřebné energie nutné k zabezpečení chodu efektoru a následnému snížení nákladů nebo možnosti využití efektoru menších rozměrů pro součást stejné hmotnosti. Součinitele tření pro různé kombinace materiálu jsou popsány v tabulce 2.2.

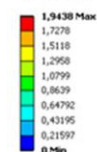
2.3.3 Využití MKP při konstrukci chapadel

Při volbě tvaru chapadla pro součást/několik různých součástí je potřeba dbát na to, aby při styku se součástí nedocházelo k bodovému kontaktu ke vzniku Hertzova napětí a z toho možného pramenícího poškození součásti nebo chapadla. K zamezení tohoto stavu lze užít např. návrhu pomocí metody konečných prvků. [1]

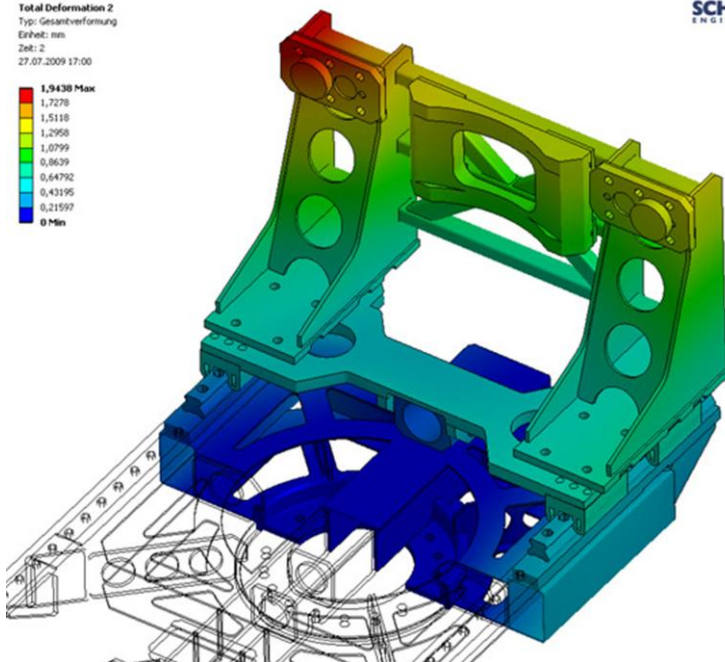


Obr. 2.3 Uchopovací prvky ze skleněného vlákna [8]

Total Deformation 2
Typ: Gesamtverformung
Einheit: mm
Zeit: 2
27.07.2009 17:00



SCHUNK
ENGINEERING

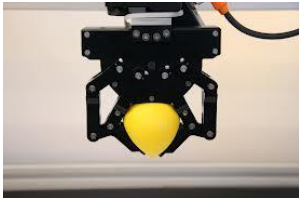





Obr. 2.4 Využití metody konečných prvků [9]

2.4 Rozdělení efektorů

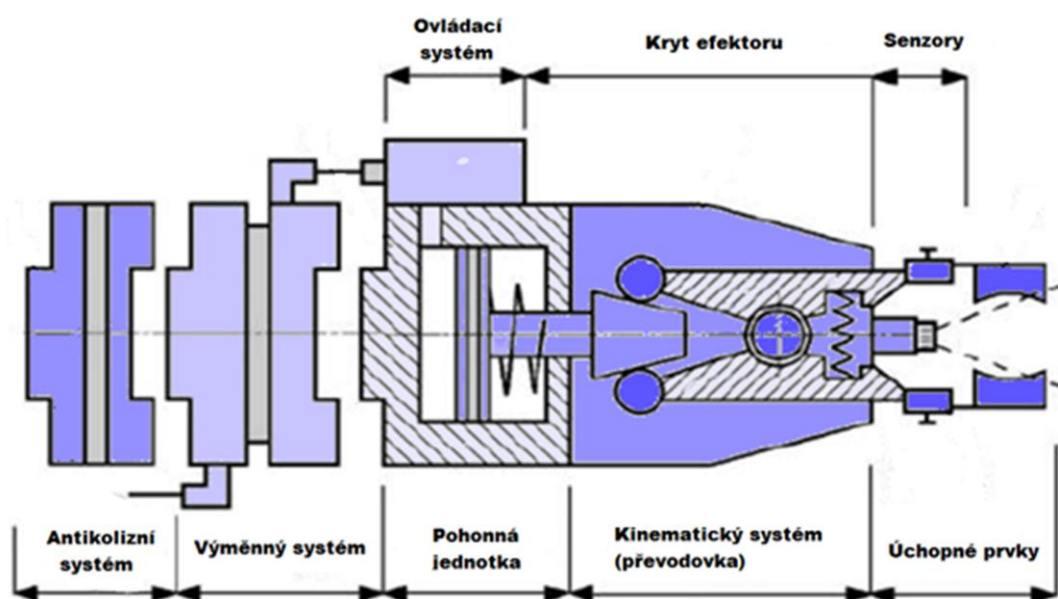
Koncové efekторы pro manipulaci rozdělujeme do několika kategorií podle způsobu, jakým se dostávají do kontaktu se součásti. Většina průmyslových aplikací je zajišťována buď mechanickými efektorů, které zabezpečují styk se součásti pomocí různých typů chapadel, nebo podtlakovými vakuovými přísavkami. Obě tyto kategorie budou dále podrobněji rozebrány.

Tab. 2.3 Rozdělení efektorů podle druhu uchopení objektů [5]

Typ efektoru	Typ pohonu	Příklady
Mechanické	Elektrické	
	Pneumatické	
	Hydraulické	
Podtlakové	Ejektory	
	Sací ventily	
	Pneumatické pumpy	
Magnetické	Permanentní magnet	
	Elektromagnet	
Třecí	Lepivé plochy	
	Tvárné chapadla	
	Jehly	

3 MECHANICKÉ EFEKTORY

Nejpoužívanějšími typy efektorů jsou efektorů mechanické. Jsou založeny na principu přenosu energie z pohonné, kterou se jednotlivé typy odlišují, do kinematiky úchopných čelistí. Svou stavbou se jedná o nejsložitější typy koncových efektorů, které však nabízejí zásadní výhody oproti ostatním druhům. Následující obrázek znázorňuje schéma mechanického efektoru s jeho prvky.



Obr. 3.1 Prvky mechanického efektoru [2]

1 Antikolizní systém zabezpečuje, aby nedošlo k poškození efektoru při neočekávané kolizi chapadel s cizím předmětem. K tomu využívá volně zavěšených částí, které jsou při normálním provozu pevně fixovány tlakem vzduchu. Pokud však dojde ke kolizi, dokáží se vychýlit ze své polohy a tím zabránit poškození. Není však běžným prvkem u každého efektoru.

2 K tomu, aby bylo možno využít robota k více operacím, je často nutné měnit úchopné hlavice. K tomu slouží výměnný systém, který zabezpečuje automatickou výměnu současně s připojením a odpojením zdroje energie.

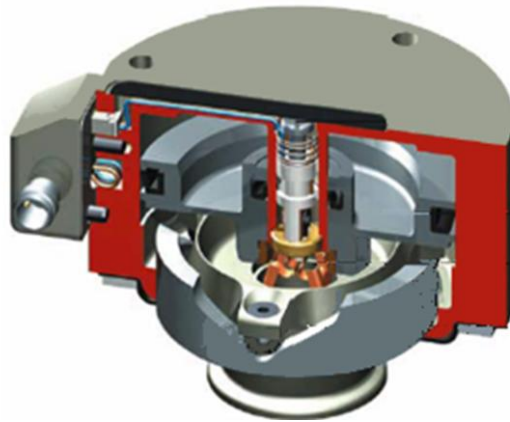
3 Pohonná jednotka představuje základní rozdíl mezi jednotlivými typy mechanických efektorů. Slouží jako zdroj energie pro pohyb chapadel.

4 Kinematický systém zabezpečuje přenos energie z pohonné jednotky do chapadel a tím určuje způsob uchopovací operace.

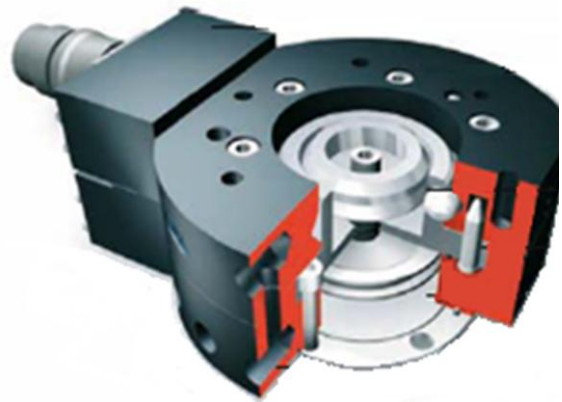
5 Samotné úchopné prvky zajišťují kontakt součásti s efektozem a hrají důležitou úlohu především z hlediska optimalizace manipulačního procesu.

6 Samotné úchopné prvky zajišťují kontakt součásti s efektozem a hrají důležitou úlohu především z hlediska optimalizace manipulačního procesu.

7 Řídící jednotka určuje, jakým způsobem bude uchopovací proces probíhat z hlediska vyvinutých sil, rychlostí apod. [1,2]



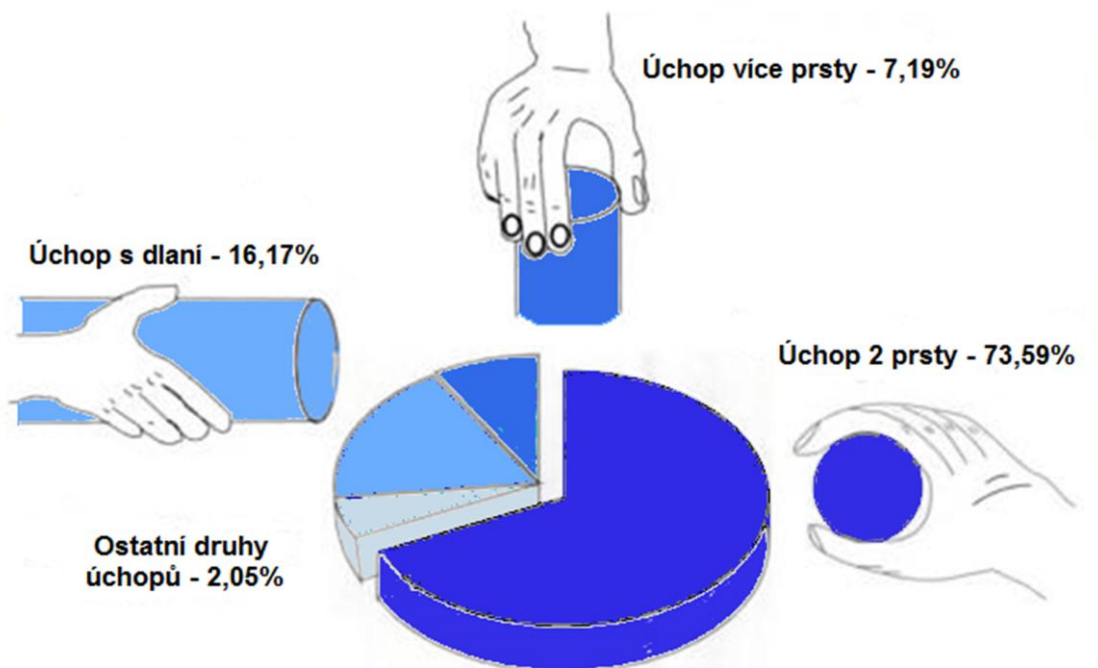
Obr. 3.2 Antikolizní systém (vlevo) [1]



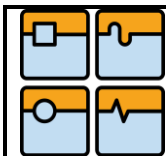
Obr. 3.3 Výměnný systém (vpravo) [1]

3.1 Počet úchopných prvků

Jak již bylo uvedeno výše, manipulační efektory mají za úkol nahradit uchopovací možnosti lidské ruky. Ta provádí, respektive je schopna provést přes 70% všech uchopovacích operací pouze dvěma prsty. To je také důvodem, proč jsou dvouchapadlové manipulační efekторы nejsilněji zastoupenými v katalogích různých výrobců a jejich kinematická struktura je nejpodrobněji rozebrána. Stejně tak prodeje těchto efektorů velmi přesně kopírují jejich reálné praktické využití, kdy z celkového podílu prodaných mechanických efektorů připadá přes 70% na dvouchapadlové a asi 20% na třichapadlové. V následujícím textu se tedy bude kladem důraz právě na ně, přičemž komplikovanější efekторы budou rozebrány v podkapitolách následujících. [4,30]



Obr. 3.4 Rozdělení typů základních úchopů [4]



3.2 Kinematické mechanismy efektorů

Pohyb chapadel u mechanického efektoru zajišťuje pohonná jednotka (aktuátor), který přenáší energii skrze translační či rotační pohyb (vstup), kterým je poháněn kinematický mechanismus, jehož výstupem je pohyb chapadel, který může být rovněž translační nebo rotační.

Tab. 3.1 Základní rozdělení efektorů podle druhu kinematiky [2,8]

Kinematický typ	Kinematické schéma	Příklad efektoru
Rotační		
Paralelní		
Radiální		

Efektory s rotační kinematikou jsou charakteristické pohybem chapadel po křivce s úhlem rozevření až 90 stupňů, což je výhodné zejména v případě manipulaci s různými součástmi odlišných rozměrů. V některých případech to však může být nevýhodou, zejména v případech omezeného prostoru pro uchopení. Vzhledem k tomu, že se jedná o velmi jednoduchou kinematiku, odpovídá tomu i cena, která je zpravidla nižší než u efektorů s lineární kinematikou.

Efektory s paralelní kinematikou jsou na druhou stranu charakteristické lineárním pohybem chapadel proti sobě, respektive pohybem jednoho chapadla k druhému, které je statické. Tyto efektory jsou na rozdíl od efektorů s rotační kinematikou vhodné především pro součásti s rovnoběžnými povrchy, ale stejně tak je možné je užít i pro součásti jiných tvarů v závislosti na konstrukci chapadel.

Radiální neboli soustředné efektory jsou ve většině případů třichapadlové efektory schopné vycentrování součásti podél os chapadel. Tyto efektory jsou často užívány pro manipulaci s válcovými součástmi. [2]

3.3 Elektrické efektory

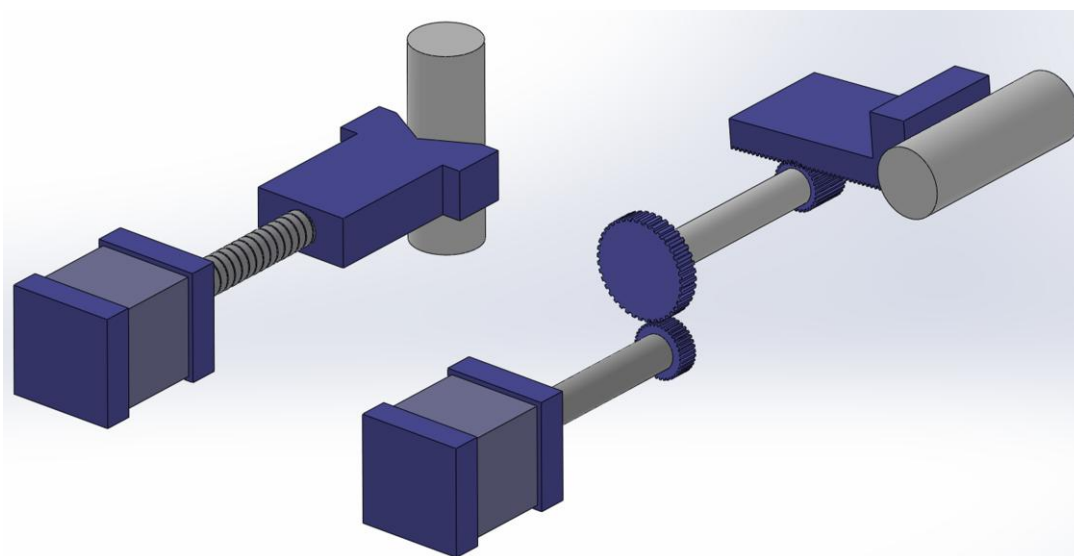
Elektrické efektory jsou v současné době po pneumatických nejvyužívanějším typem mechanických efektorů. [30]

3.3.1 Elektrické motory

Elektrické efektory využívají jako zdroj energie elektrické motory, a to: [2]

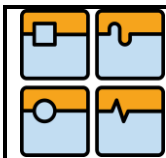
- Krokové motory – využitelné pro jednodušší aplikace vyžadující nižší rychlosti, kladem je relativně nízká cena.
- Servomotory – jsou využitelné pro náročnější aplikace, které vyžadují citlivou regulaci úchopné síly a polohování a také vyšší rychlosti. Oproti krokovým motorům jsou ekonomicky náročnější.
- Lineární motory – pro extrémně rychlý pohyb chapadel
- Piezoelektrické motory – pro velmi lehké objekty a vysoké rychlosti s malým zdvihem chapadel.

Stejnoseměrné servomotory a krokové motory jsou hlavní typy používaných elektrických motorů. Servomotory jsou v podstatě převodníky, které převádějí elektrickou energii na mechanickou - velikost a směr toku proudu v rotoru (kotvě) vytváří odpovídající točivý moment. Na rozdíl od stejnosměrných motorů, které obecně vyžadují nějakou formu zpětné vazby nebo uzavřenou smyčku řízení jsou krokové motory řízeny posloupností elektrických impulsů, kdy s počtem impulsů přímo souvisí řízení polohy motoru. Krokový motor je schopen pohybu v malých krocích pokaždé, když přijde signál. Z toho plyne jednodušší ovládání než u motorů stejnosměrných a jsou proto vhodné především pro operace typu pick-and-place, kde není vyžadován vysoký výstupní točivý moment a velká přesnost. [23]



Obr. 3.5 Převod pohybovým šroubem (vlevo) a ozubeným převodem (vpravo) [2]

Výstup z motoru je realizován buď pohybovým šroubem, který přímo pohání kinematický mechanismus nebo ozubeným převodem, tak jak je znázorněno na obrázku 3.5.



Výstupní síla z elektromotoru se vypočítá vztahem: [2]

$$F_v := \frac{M}{2 \cdot R_v}$$

F_v výstupní síla na hřídeli [N]

M výstupní moment elektromotoru [N.m]

R_v poloměr výstupního hřídele [m]

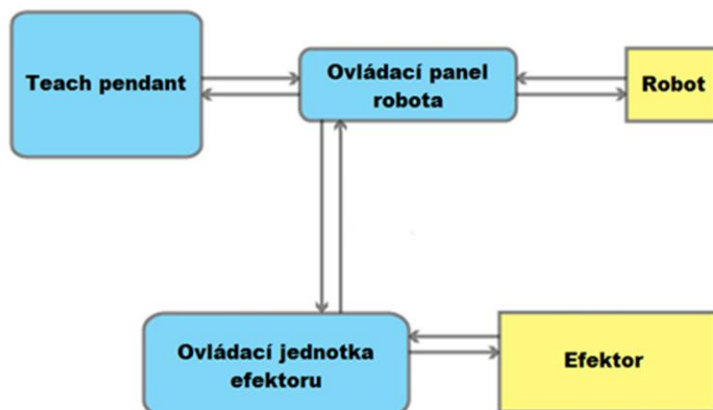
3.3.2 Řízení elektrických efektorů

Hlavní předností elektrických efektorů je především možnost regulace úchopné síly, rychlosti a zrychlení chapadel, či polohování. Princip, na jakém je regulace síly a rychlosti založena je ten, že proud v elektrickém motoru, který je možné přímo regulovat, je přímo úměrný výstupnímu točivému momentu, na kterém jsou tyto parametry závislé. To je důležité např. při manipulaci s křehkými objekty. Regulace pozice chapadla je možné dosáhnout pomocí rotačního inkrementálního čidla, které je namontováno přímo na motor a slouží k převodu mechanického rotačního pohybu na elektrické signály, které jako vstupy získává řídicí jednotka a tím může upravovat pozici chapadel. Regulace pozice je vhodná především při manipulaci s více rozdílnými součástmi při jednom procesu, které mají odlišné rozměry. Při nastavení korespondujících počátečních a koncových hodnot dráhy chapadel je možné významně snížit manipulační čas, spotřebu energie a také snížit potřebu místa pro manipulační hlavici, což může být velmi důležité při některých aplikacích, např. manipulaci s neuspořádanými součástmi na dopravníkové lince. V tomto ohledu se odlišují od ostatních mechanických efektorů, které mají tyto možnosti pouze velmi omezené. [2, 3, 22]

Elektrické efekty mohou být řízeny 2 způsoby, a to v závislosti na kontrolní jednotce, která může být:

- Integrovaná do koncového efektoru se samostatným výstupem.
- Externí kontrolní jednotka.

Ta je potom spojena s řídicí jednotkou robota, který je dále propojena s ovládacím panelem (teach-pendant, počítač).



Obr. 3.6 Schéma řízení efektoru [22]

Mezi rozhraní, přes které je možno kontrolní jednotku připojit, patří EtherNet/IP, Modbus TCP/IP, EtherCAT, DeviceNET, CANopen, Profibus DP, CAN-Bus, I/O a další. Ve většině případů obsahuje kontrolní jednotka několik samostatných rozhraní v celkovém počtu 4-6. [3, 18]



Obr. 3.7 Efektor s integrovanou ovládací jednotkou (vpravo) [10]

Obr. 3.8 Efektor s externí ovládací jednotka efektoru (vlevo) [8]

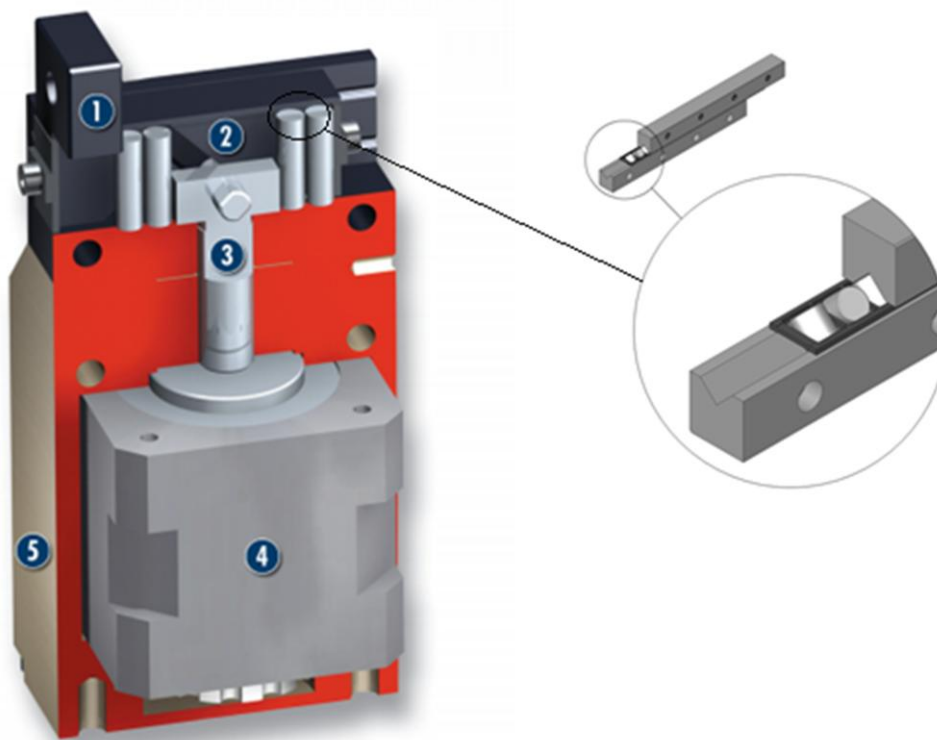
Součástí kontrolního systému je i software, v němž je možno nastavit požadované hodnoty řízených parametrů a také možnost vytvoření programu pro danou aplikaci v prostředí s programovacím jazykem typu PASCAL. U některých typů lze konfiguraci provést i přes internetový prohlížeč na serveru výrobce zadáním sériového čísla kontrolní jednotky do příkazové řádky prohlížeče, která automaticky odkáže na rozhraní kontrolní jednotky. [10]

ACC	Acceleration	<input type="range"/>	<input type="text" value="100"/>	mm/s ²	<input type="button" value="Apply"/>
FORCE	Grasping Force	<input type="range"/>	<input type="text" value="50"/>	N	<input type="button" value="Apply"/>
GOTO	Target position	<input type="range"/>	<input type="text" value="4"/>	mm	<input type="button" value="Goto"/>
	Speed	<input type="range"/>	<input type="text" value="5"/>	mm/s	
GRASP	Grasping position	<input type="range"/>	<input type="text" value="4"/>	mm	<input type="button" value="Grasp"/>
	Grasping speed	<input type="range"/>	<input type="text" value="5"/>	mm/s	
RELEASE	Release position	<input type="range"/>	<input type="text" value="4"/>	mm	<input type="button" value="Release"/>
	Release speed	<input type="range"/>	<input type="text" value="5"/>	mm/s	
STOP	Pressing "Stop" will immediately stop the movement of the gripper.				<input type="button" value="X Stop"/>

Obr. 3.9 Řídicí rozhraní pro elektrický efektor [8]

3.3.3 Rozbor vybraného efektoru

Vzhledem k tomu, že jedním z cílů této práce je srovnání elektrických a pneumatických hlav, bude vhodné porovnat dva zástupce z každé oblasti s podobnými parametry. Oba tyto efektor patří do základní řady výrobce Schunk.



Obr. 3.10 Řez elektrickým efektoem Schunk MEG-40 [8, 25]

Elektrický efektor, který byl pro srovnání vybrán, je model MEG 40. Na obrázku 3.9 je znázorněn řez tímto efektoem s jeho základními konstrukčními prvky. [8]

- 1 Základní (upevňovací) čelist, která slouží k upevnění chapadel specifických pro danou součást
- 2 Křížové vedení čelistí pro přesné polohování
- 3 Klínové vedení sloužící k přenášení energie ze servomotoru do kinematiky uchopovací čelisti.
- 4 Krokový motor s vřetenovým výstupem.
- 5 Kryt z hliníkové slitiny pro dosažení minimální hmotnosti.

Ze schématu je tedy vidět, že podstatnou část celého krytu zabírá samotný motor a v rámci zmenšení rozměrů a snížení hmotnosti je tedy kryt konstruován tak, že se chová jako tenká skořepina, a nedosahuje tedy stejné tuhosti jako kryt efektoru s pneumatickým pohonem.

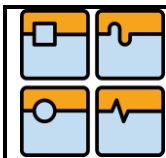
3.3.4 Adaptabilní elektrické efektory

Možnosti, které elektrický pohon nabízí, by byly stěží využitelné pouze u jednoduchých dvouchapadlových efektorů. Uplatnění nacházejí i u náročných aplikací, které vynikají vysokou flexibilitou a schopností řízení. Jedním z průmyslově používaných zástupců tohoto typu je tříchapadlová hlavice SDH od výrobce Schunk (obr. 3.10).



Obr. 3.11 Adaptabilní efektor Schunk SDH [8]

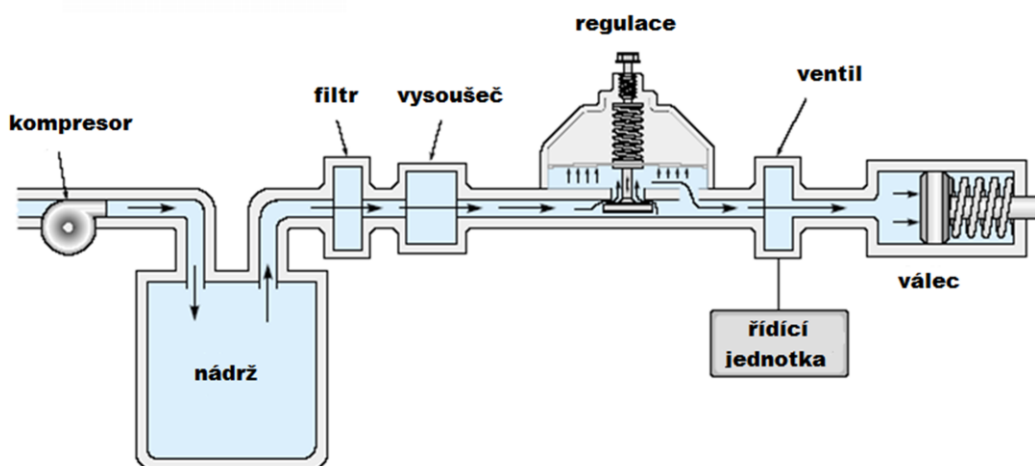
Horní řada tohoto obrázku demonstruje možné způsoby zachycení manipulovaného objektu, které pokrývají většinu možných manipulačních situací. Vpravo dole je ukázka možného použití, v daném případě se tedy jedná o šestiosé manipulační rameno. Standardně je tato hlavice vybavena dotykovými senzory, které umožňují spolehlivé určení, zda je či není součást uchopena, což je pro flexibilní operace s různou variací součástí důležitá funkce. [8]



3.4 Pneumatické efektory

Pneumatické aktuátory patří mezi historicky nejrozšířenější druh pohonů pro manipulační efektory. Pohonnou jednotkou je pneumatický válec, který je umístěn krytu efektoru, nebo je namontován mimo něj. Na rozdíl od elektrických aktuátorů, které vyžadují pro své fungování pouze zdroj elektrické energie, jsou pneumatické aktuátory součástí komplexnějšího systému, který zahrnuje: [13]

- Kompresor
- Rozvody vzduchu
- Těsnění
- Ventily
- Regulační jednotky
- Mazací jednotky
- Závěrný ventil a další komponenty



Obr. 3.12 Pneumatický systém [12]

Při volbě pneumatických efektorů tedy hraje významnou roli i to, zda je v pracovišti dostupná infrastruktura s rozvody stlačeného vzduchu. Samotný fakt, že k pohonu těchto efektorů je zapotřebí stlačeného vzduchu jako zdroje energie má své výhody i nevýhody. Mezi výhody patří možnost použití i v místech silného elektrického a elektromagnetického pole. [1]

3.4.1 Stavba pneumatického efektoru

Co se týče samotné koncepce stavby pneumatického efektoru, jedná se o zařízení jednodušší než elektrický efektor. Pohon je zajišťován pohybem pneumatického válce, který je uskutečňován přívodem stlačeného vzduchu. Od toho se také odvíjí výpočet hnací síly. Zatímco u elektrického efektoru byla hnací síla závislá na výstupním momentu motoru, u pneumatického efektoru je tato hodnota závislá na tlaku přiváděného vzduchu, ploše základny válce a účinnosti podle vzorce: [2]

$$F_h := p_e \cdot S_v \cdot \eta$$

F_h hnací síla pístu [N]

p_e pracovní tlak (rozdíl absolutního a atmosférického tlaku) [Pa]

S_v vnitřní plocha válce [m²]

η účinnost [-]

Účinnost závisí jednak na tření, a jednak na ztrátách vzduchu a u standardních aplikací se pohybuje se v rozmezí 0.7-0.9.

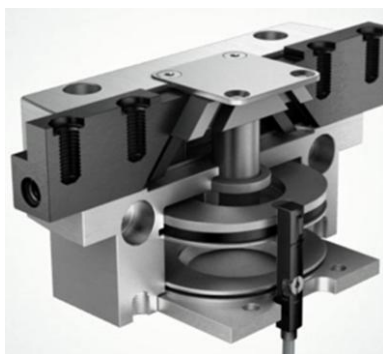
Výpočet výsledné úchopné síly je, stejně jako u elektrického efektoru, závislý na stavbě kinematického mechanismu, avšak ta je oproti elektrickým značně omezená tím, že maximální tlak se pohybuje okolo 8 bar (=0.8MPa) a efektivní plocha základny válce je omezena vnějšími rozměry efektoru.

Vzhledem ke své jednoduché stavbě jsou pneumatické efektoru spolehlivější a mají delší životnost než efektoru elektrické. Z jejich jednoduché konstrukce pramení i velmi příznivá pořizovací cena. Díky absenci složitých ovládacích prvků jsou vhodné i do provozů bez zkušené obsluhy, neboť jejich montáž, údržba a provoz jsou poměrně jednoduché. To však může být i nevýhodou, neboť možnosti řízení těchto efektorů jsou na rozdíl od efektorů elektrických značně omezené. [1,2]

3.4.2 Řízení

Přesné řízení síly a rychlosti je problematické z toho důvodu, že obě jsou závislé na tlaku vzduchu, který je do válce přiváděn, a proto není možné je ovládat samostatně. Pro jejich řízení se využívá např. proporcionálních ventilů, které regulují tlak vzduchu přicházející do válce na základě elektrických vstupů z řídicí jednotky. Jednou z výhod použití těchto ventilů je, že při výpadku přívodu energie je udržován stálý tlak ve válci a nedochází tak k rozevření chapadla a případnému upuštění součásti.

Stlačitelností vzduchu a vysokými třecími silami ve válci však dochází k nelinearitám mezi tlakem a výstupní silou, a to způsobuje nemožnost přesného řízení tohoto parametru. Ze stejného důvodu je problémem nemožnost přesného polohování chapadel, které musí při manipulační operaci vykonat celý rozsah jejich pohybu. To je nevýhodou zejména při manipulaci s rozdílnými velikostmi objektů, neboť dochází k plýtvání stlačeného vzduchu. Proto se pneumatické efektoru hodí zejména pro méně flexibilní aplikace, které nevyžadují přesné řízení úchopné síly. [1,2,13]



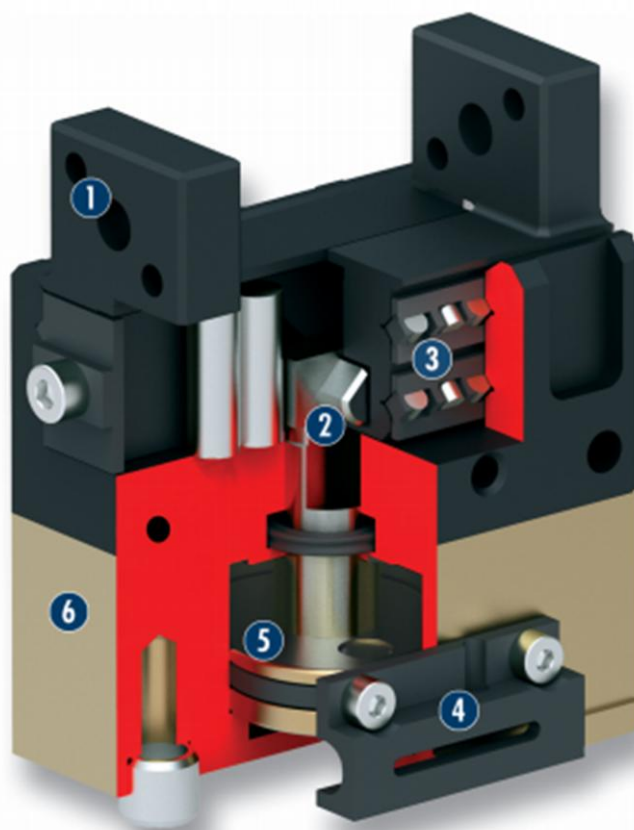
Obr. 3.14 Polohový senzor pneumatického válce (vlevo) [19]



Obr. 3.13 Proporcionální ventil (vpravo) [19]

3.4.3 Rozbor vybraného efektoru

Stejně jako v předchozí kapitole zde bude rozebrán zástupce s pneumatickým pohonem shodné řady. Jedná se o koncový efektor MPG-40 od firmy Schunk.



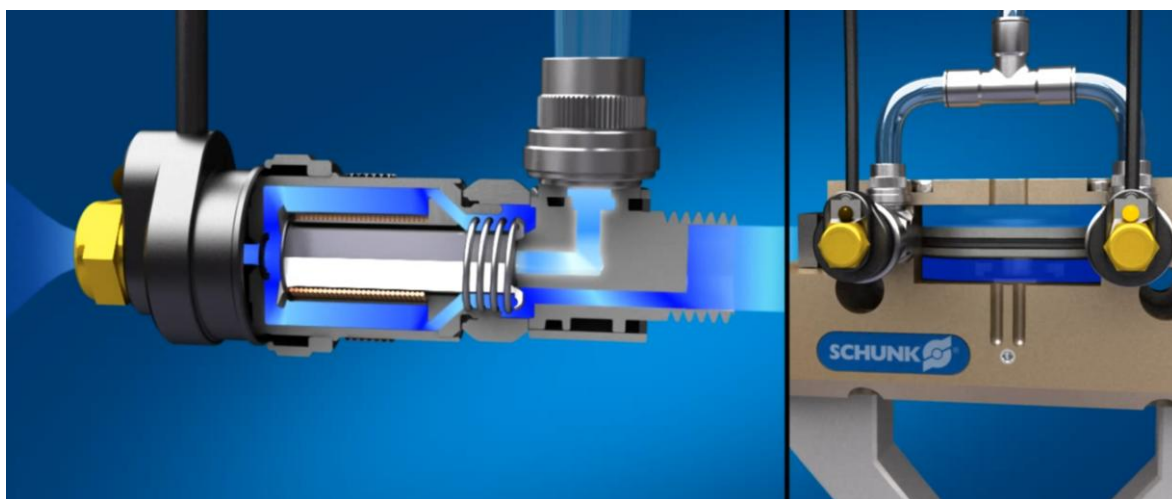
Obr. 3.15 Pneumatický efektor Schunk MPG [8]

- 1 Základní (upevňovací) čelist, která slouží k upevnění chapadel specifických pro danou součást
- 2 Křížové vedení čelistí pro přesné polohování
- 3 Klínové vedení sloužící k přenášení energie ze servomotoru do kinematiky uchopovací čelisti.
- 4 Senzory sloužící k monitorování pohybu pístu ve válci
- 5 Píst s kruhovým průřezem
- 6 Kryt z hliníkové slitiny pro dosažení minimální hmotnosti. [8]

Z obrázku je na první pohled zřejmé, že tento efektor je svou stavbou mnohem robustnější než efektor elektrický a také je mnohem menší, což je dáno absencí rozměrného elektrického motoru.

3.4.4 Úsporné ventily

Vzhledem k tomu, že pro provoz pneumatických efektorů je zapotřebí stlačený vzduch, je snahou co nejvíce optimalizovat jeho využití a tím snížit náklady na provoz efektoru. Jednou z možností, jak ztrátám zabránit, je použití solenoidových ventilů pro pneumatické efekторы.



Obr. 3.16 Solenoidový ventil Schunk [8]

Princip tohoto systému spočívá v tom, že pokud do válce proudí stlačený vzduch, sepne se obvod a do cívky proudí elektrický proud, který vyvolá magnetickou sílu působící na pružinu. Ta otevře pravý vývod ventilu a levý vývod zůstává uzavřený. Tím proudí stlačený vzduch do válce a chapadla se zavírají. Pokud má být z válce tento vzduch vytlačován zpět (chapadla se rozevírají), pravý vývod se uzavírá a levý vývod se otevírá tak, aby mohl vzduch proudit ven. Pokud zůstává píst pneumatického efektoru v klidu, je pravý vývod tohoto ventilu díky pružině stále uzavřen. Díky tomu je možné udržovat v rozvodech vzduchu stálý tlak a tím dochází ke snížení času potřebného k manipulaci až o 100% podle typu efektoru a k současnému snížení vzduchových ztrát až o 90% oproti použití konvenčních ventilů. Se vzrůstající velikostí válce efektoru však efektivita těchto ventilů klesá a v případě, že je objem vzduchu v přívodních hadicích nižší než objem ve válci, přestává být instalace těchto ventilů výhodná. [8]

3.5 Srovnání elektrických a pneumatických efektorů

Vzhledem k tomu, že elektrické a pneumatické efekty patří do stejné kategorie mechanických efektorů, a jsou v určitých případech zastupitelné, bude v následujících podkapitolách nastíněno jejich srovnání.

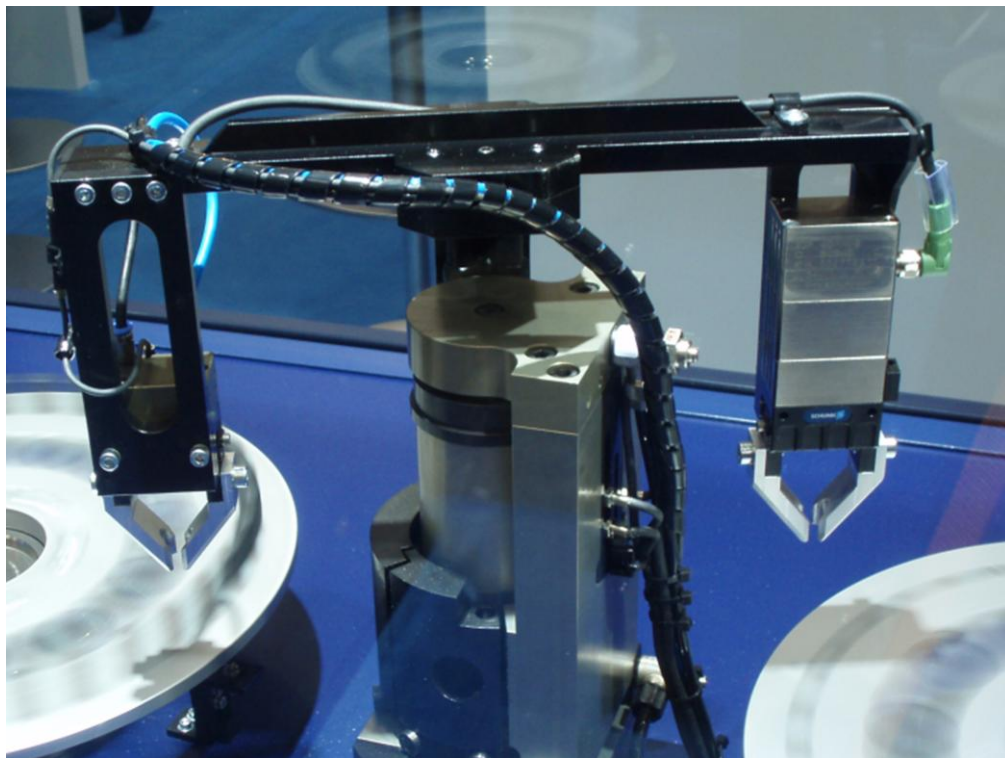
3.5.1 Efekty pro drobnou manipulaci

Tab. 3.2 Srovnání efektorů Schunk MEG-40 a MPG-40 [8]

Malé efekty	MPG-40	MEG-40	Jednotky
Rozsah pohybu chapadla	6	6	[mm]
Min./Max. uchopovací síla	135	35-40	[N]
Hmotnost efektoru	0,18	0,47	[kg]
Doporučená hmotnost objektu manipulace	0,7	0,25	[kg]
Min./Max. okolní teplota	-10/90	5.55	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,02	0,02	[mm]
Čas úplného otevření/zavření chapadel	0.04	0,8	[s]
Rozměry v/š/h	57/40/26	102/40/40	[mm]

Co se týče rozměrů a hmotnosti, pneumatické efekty poskytují jednoznačně výhodnější parametry než efekty elektrické. Celkový objem elektrického efektoru je 2.75x větší než pneumatického, a tak efektoru zabírá mnohem více místa. Co se týče poměru hmotnosti efektoru vůči hmotnosti výrobku, ten je pouze 0.5 u elektrického oproti 3.9 u pneumatického. Rozdíl je tedy téměř osminásobný.

Při použití pneumatických efektorů pro drobnou manipulaci je další výhoda i v tom, že díky své hmotnosti a rozměrům umožňuje manipulačnímu robotu dosáhnout lepší dynamiky procesu a ten se tak stává ještě efektivnějším. Mezi jejich hlavní nevýhody v tomto případě patří tedy především nemožnost přesného řízení.



Obr. 3.17 Pneumatický (vlevo) a elektrický (vpravo) efektor Schunk pro drobnou manipulaci [veletrh Hannover 2013]

3.5.2 Srovnání efektorů pro vyšší hmotnosti

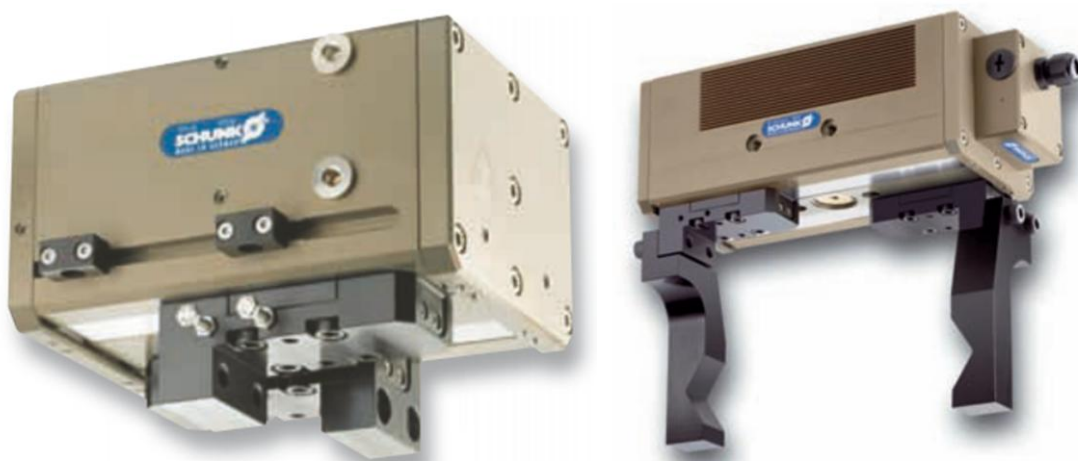
Tab. 3.3 Srovnání efektorů Schunk PFH a PEH [8]

Velké efekty	PFH 50-100	PEH 50	Jednotky
Rozsah pohybu chapadla	100	286	[mm]
Max. uchopovací síla	2600	1500	[N]
Hmotnost efektoru	12,6	11,6	[kg]
Doporučená hmotnost objektu manipulace	13	22,5	[kg]
Min./Max. okolní teplota	-10/90	5.65	[°C]
Opakovatelná přesnost	0,05	0,05	[mm]
Čas úplného otevření/zavření chapadel	1	0,7	[mm/s]
Rozměry v/š/h	141/317/144	108/760/80	[mm]

Při srovnání efektorů podobné řady pro vyšší hmotnosti je zřejmé, že se zmenšují rozdíly mezi jejich parametry. Rozměry obou jsou pro stejný rozsah pohybu obdobné, což je dáno dostatkem místa pro jinak prostorově náročný elektromotor a rozdíl mezi poměrem hmotnosti efektoru k hmotnosti je mnohem příznivější ve prospěch elektrického efektoru, a to i přes jeho mnohem větší rozměry.

Možnost řízení polohy je u větších pneumatických efektorů větším problémem než u menších, protože při manipulaci s objekty různých rozměrů zde dochází ke zbytečným ztrátám. Proto se užití pneumatických efektorů v tomto případě omezuje na manipulaci rozměrově stejných či velmi podobných součástí.

Pro manipulaci se součástmi větších hmotností se také hodí spíše elektrické aktuátory, které zvládají hmotnosti v řádu stovek kilogramů, kdežto pneumatické jsou stavěny na hmotnosti jen do cca 50kg. To stejné platí i pro rozsah pohybu chapadel, kdy větší rozsah je vhodnější pro elektrické pohony kvůli omezené délce válce, na kterém je rozsah pohybu závislý. [8]



Obr. 3.18 Elektrický efektor PEH (vpravo) [8]

Obr. 3.19 Pneumatický efektor PFH (vlevo) [8]

3.5.3 Použití elektrických a pneumatických efektorů

Pneumatické efektor jsou vhodné zejména: [1, 2, 8]

- v provozech s instalovanou infrastrukturou stlačeného vzduchu
- ve výbušném prostředí, protože pneumatické aktuátory mohou pracovat bez přívodu elektrické energie a nedochází tak možnosti vzniku jisker a případného výbuchů či vznícení, což je nutné např. v provozech s metanem, zemním plynem apod.
- v prašném a vlhkém prostředí, např. ve slévárně nebo u obráběcích strojů
- pro operace pick-and-place díky s relativně malými objekty, kde je nutná co nejvyšší rychlost a dynamika (např. při použití s robotem typu SCARA)
- v provozech s velkým elektrickým a elektromagnetickým polem z důvodu absence elektrických komponent



- - v provozech s vysokými teplotami, které elektrický efektor nedokáže snášet, tedy např. manipulace s výkovky a hutními polotovary, výroba oceli, pece apod.



Obr. 3.20 Použití pneumatického efektoru při operaci pick-and-place (vlevo) [9]

Obr. 3.21 Použití pneumatického efektoru v prostředí s vysokou teplotou (vpravo) [9]


Elektrické efektory jsou vhodné: [1, 8, 30]

- pro flexibilní manipulační operace vyžadující manipulaci se součástmi rozdílných tvarů a rozměrů
- pro manipulaci s objekty velmi rozdílných tuhostí
- při manipulaci s velmi citlivými a křehkými součástmi ve velmi čistých provozech, např. ve farmaceutickém průmyslu, laboratořích a výzkumných centrech
- pro velké součásti s vysokou hmotností



Obr. 3.22 Manipulace s drobnou elektronikou (vpravo) [9]

Obr. 3.23 Elektrický efektor pro manipulaci s těžkými součástmi (vlevo) [9]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3.5.4 Cenové srovnání

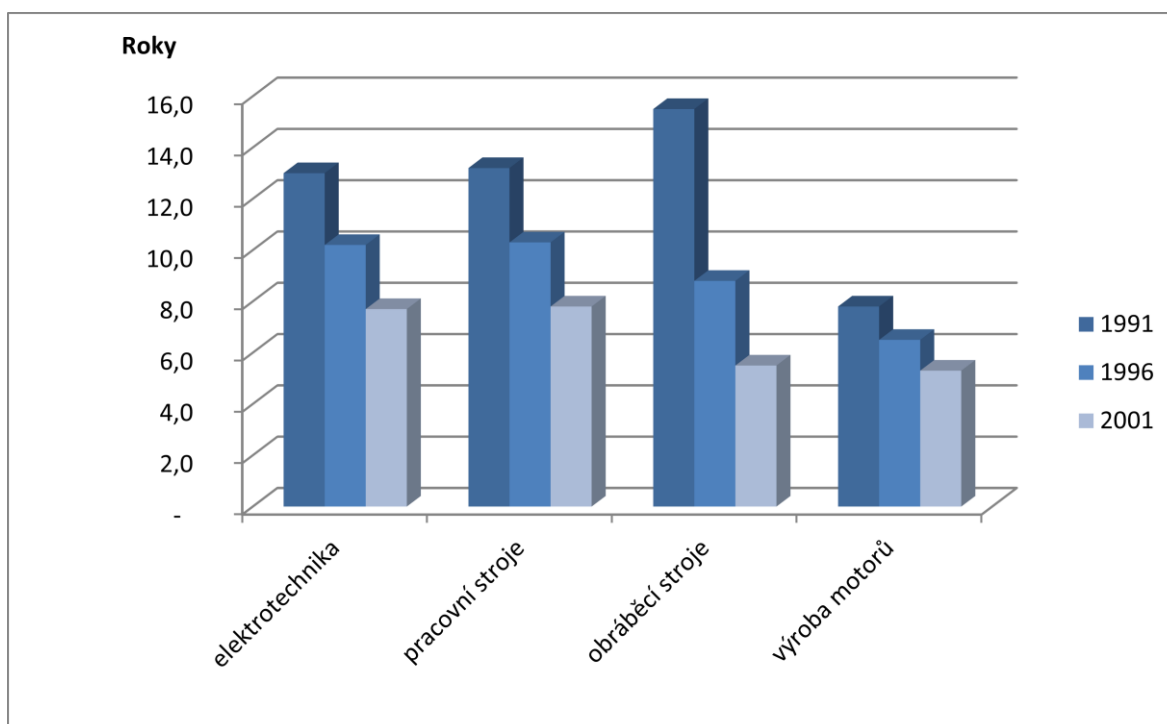
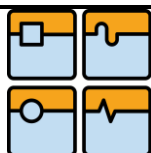
Zásadním rozdílem mezi pneumatickými a elektrickými hlavicemi je jejich pořizovací cena. Zatímco pneumatické stojí v závislosti na typu efektoru asi 500-1000 EUR, elektrické jsou s cenou 2000-3000 tisíc EUR 3-4x dražší. K tomu je nutno připočítat náklady na řídicí jednotku v řádu stovek EUR. Tento cenový rozdíl, spolu s delší tradicí používání pneumatických efektorů, je důvodem toho, že z celkového počtu prodaných efektorů je 80-90% pneumatických a pouze 10-20% elektrických.

Vedle pořizovací ceny je však nutno zkoumat i provozní náklady, mezi které patří náklady na obsluhu, montáž, údržbu a energii. Náklady na energii, která je u obou efektorů relativní, jsou zásadní položkou týkající se provozu efektoru. Pokud jde o manipulační proces s vysokým počtem cyklů a mnoha manipulačními operacemi, je mnohem ekonomičtější použití elektrických efektorů, jejichž provoz může být v takovém případě až trojnásobně levnější. Pokud se jedná o proces s nízkým počtem cyklů a dlouhou dobou mezi uchopovacími operacemi, je výhodnější pneumatický efektor, protože na rozdíl od elektrického potřebuje energii pouze pro samotné uchopení součásti, kdežto elektrický musí vynakládat energii i na samotné držení součásti. Čím delší je teda doba cyklu, tím výhodnější je aplikace pneumatického efektoru. [14, 30]

Na toto téma však není k dispozici mnoho relevantních průmyslových studií, což odrazuje potenciální zákazníky, kteří žádají návratnost investice do dražšího elektrického efektoru v horizontu 2-3 let. Přes nespornou marketingovou snahu výrobců elektrických efektorů, jejichž prodej je pro ně mnohem výhodnější jednak z důvodu jejich samotné ceny, a jednak toho, že v rámci „využití potenciálu“ efektoru (ať už je to nutné nebo ne) je často doporučováno pořízení senzoriky, zůstávají prodeje pneumatických efektorů dlouhodobě relativně stabilní. [9, 24]

3.5.5 Flexibilita

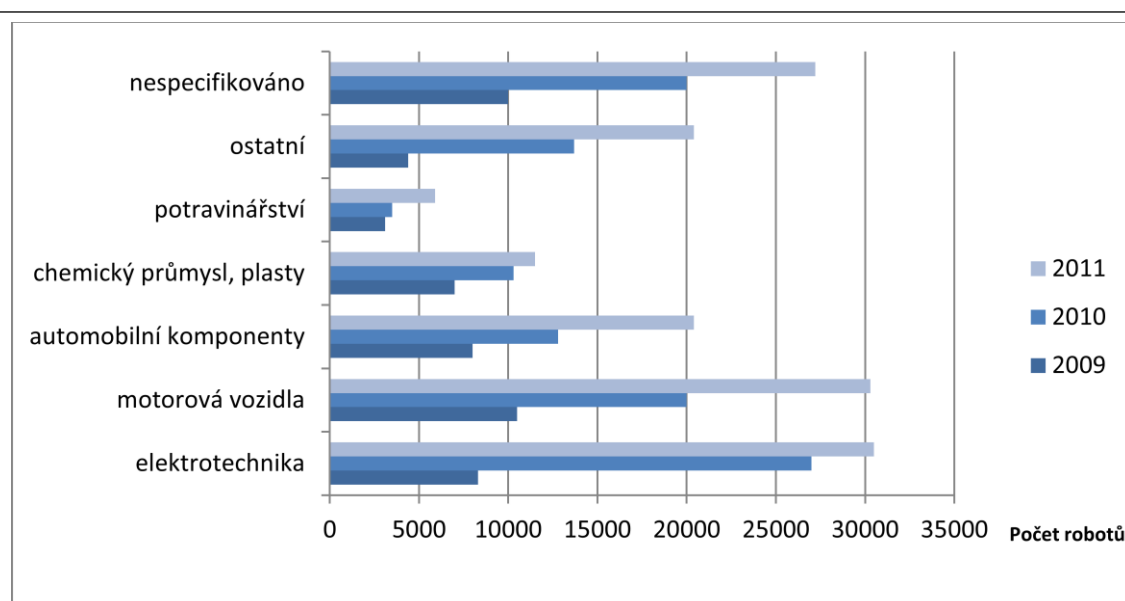
Z výrobního a ekonomického hlediska je taktéž nutno vzít v úvahu trend urychlování změn ve výrobních procesech, např. z důvodu měnící se poptávky trhu a snižování životního cyklu výrobků (obr. 3.23). Samotný robotický systém je založen na myšlence vysoké flexibility, kdy je možné jej, na rozdíl od jednoúčelových manipulačních strojů, užít k odlišným manipulačním operacím s odlišnými součástmi. K tomu se váže i flexibilita koncového efektoru, kdy je zřejmé, že některé typy elektrických efektorů mají ze své podstaty větší (i když stále omezený) potenciál přizpůsobit se odlišným manipulačním požadavkům, aniž by bylo nutné je měnit za jiný typ, jak tomu bude častěji nutné u pneumatických efektorů.



Obr. 3.24 Životní cyklus výrobků v čase [11]

3.5.6 Budoucí vývoj

Jak je vidět z grafu, hlavním trendem v posledních letech je především využití robotů v oblasti elektrotechniky, která za poslední 2 roky více než ztrojnásobila svou poptávku, a tradičně také v oblasti automobilní. Lze předpokládat, že v této oblasti budou čím dál častěji využity právě elektrické hlavice, které mají mnohem lepší možnosti řízení a jejichž výhodou je také čistý provoz, což jsou důležité faktory při manipulaci s citlivými elektrotechnickými součástmi.



Obr. 3.25 Prodej robotů ve vybraných odvětvích v letech 2009-2011 [7]

Další možností využití elektrických efektorů v průmyslu jsou i dokončovací montážní operace, kterým v současné době dominuje lidská práce. S rozvojem použití přesné sensoriky, umělé inteligence u robotů a jejich schopnosti bezpečně spolupracovat s člověkem na jednom pracovišti je možné předpokládat využití právě elektrických efektorů, které jsou pro takový typ operace mnohem vhodnější.

Jak víme, zásadním nevýhodou elektrických hlavice oproti pneumatickým je právě jejich cena. Pokud však bude trend vyplývající z grafu níže pokračovat, lze očekávat, že se zvyšováním produkce elektrických hlavice a jejich periferií bude nadále docházet ke snižování jejich cen a také k rychlejšímu technologickému rozvoji, což bude mít za následek jejich stále větší dostupnost a vhodnost do provozů, které jsou v současné době dominovány právě hlavici pneumatickými.

3.6 Hydraulické efekторы

Hydraulické aktuátory pracují na shodném principu jako pneumatické s tím rozdílem, že pohonným médiem není vzduch ale kapalina, a to ve většině případů hydraulický olej. Z důvodu relativní nestlačitelnosti kapalin a samomaznosti systému daným jeho konstrukcí je možné poměrně přesně regulovat uchopovací sílu v celém rozsahu pohybu chapadla. To jej od pneumatických pohonů odlišuje. Pracovní tlaky v hydraulických aktuátorech se pohybují v rozmezí 30-300bar, což je v porovnání s tlakem v pneumatických mnohonásobně více. Z těchto důvodů jsou hydraulické efekторы schopny manipulace s velmi těžkými objekty i při malých rozměrech.

Hydraulický pohon s sebou však přináší i řadu nevýhod, mezi které patří:

- Pomalý pohyb chapadel
- Možnost vzniku škod způsobených únikem kapaliny
- Nákladný servis
- Nutnost instalace hydraulického systému
- Nutnost filtrace kapaliny pro opakované použití

Z těchto důvodů jsou hydraulické efekторы vytlačovány elektrickými, které mohou taktéž dosáhnout velkých manipulačních sil a velmi přesného řízení. Cenový rozdíl je kompenzován větší flexibilitou a rychlostí elektrických efektorů. Smysl má použití pro manipulaci s opravdu těžkými objekty v řádu tisíců kilogramů, které však přesahují nosnost průmyslových robotů a proto se spíše hodí pro manipulaci portálovými manipulatory. [1, 15]



Obr. 3.26 Hydraulický efektor Schunk [8]

4 VAKUOVÉ EFEKTORY

Vakuové efektory jsou typem svíravých efektorů, které jako zdroj energie využívají vakuum. Pracují na principu tvorby podtlaku ve vakuové přísavce, díky čemuž je manipulovaný objekt k přísavce přitlačován okolním tlakem. Standardní hodnota podtlaku v přísavce je 70-80kPa. Přítlačná síla pro horizontální manipulaci se vypočítá podle vzorce: [2]

$$F_p := p_p \cdot S_p \cdot n \cdot \eta \cdot z \cdot \frac{1}{k} + m_s \cdot g$$

F_p přítlačná síla [N]

p_p podtlak v přísavce (rozdíl absolutního a atmosférického tlaku) [Pa]

S_p plocha přísavky [m²]

n deformační koeficient (běžně 0.6-0.9) [-]

η účinnost [-]

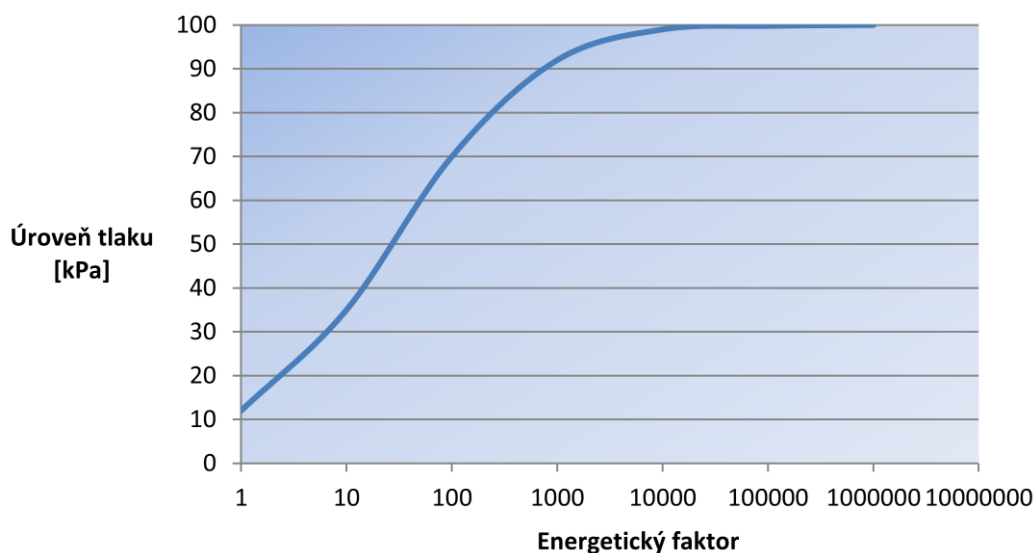
z počet přísavek [-]

k bezpečnostní faktor [-]

m_s hmotnost manipulované součásti [kg]

g gravitační zrychlení [m.s⁻²]

Síla je tedy omezena maximální hodnotou vakua, což je za normálních podmínek 101,3kPa. Takový podtlak se však při průmyslových aplikacích nevyužívá, neboť s jeho růstem nad hranici 90kPa exponenciálně roste jeho energetická náročnost, tedy spotřeba energie v závislosti na velikosti vakua. Proto je pro aplikace o vyšší hmotnosti nutno použít větší počet přísavek s větší efektivní plochou. [2, 16]



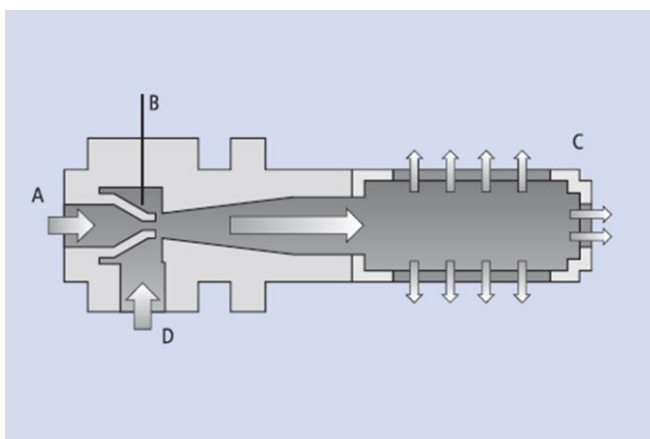
Obr. 4.1 Energetická náročnost vakua [16]

4.1 Tvorba vakua

Jako zdroje vakua se užívají následující zařízení:

- Vakuové pumpy
- Ejektory
- Sací ventilátory
- Pneumatické válce

Vakuové ejektory, pracující na principu pneumatické tvorby vakua jsou výhodné zejména pro svou lehkou a kompaktní konstrukci, bezúdržbovost a rychlou tvorbu vakua. Jejich další výhodou je možnost přímé integrace filtrů, kontrolních ventilů a monitorovacích systémů, což zajišťuje dobrou možnost jejich řízení. Z toho důvodu jsou vhodné pro užití v robotických aplikacích a automatizaci. Nevýhodou jsou vysoké provozní nároky na spotřebu stlačeného vzduchu. [2, 17]



Obr. 4.2 Schéma vakuového ejektoru [24]

Princip fungování vakuového ejektoru je znázorněn na obrázku 4.2. Stlačený vzduch vstupuje do ejektoru prostřednictvím připojení (A) a protéká Venturiho dýzou (B). Během tohoto procesu se vzduch zrychluje a stlačuje. Po průchodu tryskou se zrychlený vzduch rozpiná a tvoří se podtlak. V důsledku toho je vzduch nasáván připojením (D), které ústí do přísavky. Nasátý vzduch spolu se stlačeným vzduchem uniká ven tlumičem (C). [24]

Na rozdíl od vakuových ejektorů, vakuové pumpy a ventilátory jsou elektrickými generátory vakua. Ventilátory mají v porovnání mnohem vyšší sací schopnost, a proto se využívají zejména pro manipulaci s porézními materiály, např. izolační materiály, kartonové krabice nebo dřevotřísky. [2]

4.2 Vakuové přísavky

Vakuové přísavky jsou vyrobeny zpravidla z polyuretanu nebo z pryže a podle typu materiálu mohou být standardně použity v rozmezí od -50°C do 200°C, u speciálních typů je to až 600°C. Lze je rozdělit do 2 základních skupin, na ploché a měchové. [2]

4.2.1 Ploché přísavky

Ploché přísavky jsou vhodné zejména pro manipulaci s obrobky s plochým nebo mírně zakřiveným povrchem. Ploché přísavky může být evakuovány velmi rychle kvůli jejich

plochému tvaru a nízkému vnitřnímu objemu, proto uchycení obrobku probíhá ve velmi krátkém čase a vydrží i síly vznikající při rychlém pohybu manipulované součásti.

Mezi typické oblasti použití patří manipulace s hladkými nebo lehce drsnými objekty, jako jsou plechy, lepenka, tabule skla, plastové a dřevěné desky.

4.2.2 Měchové přísavky

Měchové přísavky se používají při potřebě kompenzovat různé výšky součástí, na manipulaci s díly s nerovným povrchem nebo křehké díly. Flexibilita je zajištěna právě zvlněním přísavky.

Z toho vyplývají typické oblasti použití, mezi které patří manipulace se zvlněnými povrchy karoserií, trubek či balených výrobků. Dále manipulace s křehkými objekty, např. elektrickými komponenty a vstřikovanými plastovými díly. [17]



Obr. 4.3 Měchové přísavky Schmalz (vpravo) [17]

Obr. 4.4 Ploché přísavky Schmalz (vlevo) [17]

4.2.3 Použití vakuových efektorů



Obr. 4.5 Příklady použití vakuových efektorů [17]

5 MAGNETICKÉ EFEKTORY

Magnetické efekty jsou využívány pro manipulaci s kovovými materiály, a vedle mechanických a vakuových patří mezi nejpoužívanější typy manipulačních efektorů.

Magnetické efekty lze rozdělit na dva základní typy, a to: [2]

- s permanentními magnety
- s elektromagnety

5.1 Efekty s elektromagnety

Elektromagnetické efekty pracují na principu magnetické indukce. Sestávají z cívky, která je navinuta na jádro z vysoce magneticky permeabilního materiálu. Vyvinutí magnetická síla se vypočítá podle vzorce: [2]

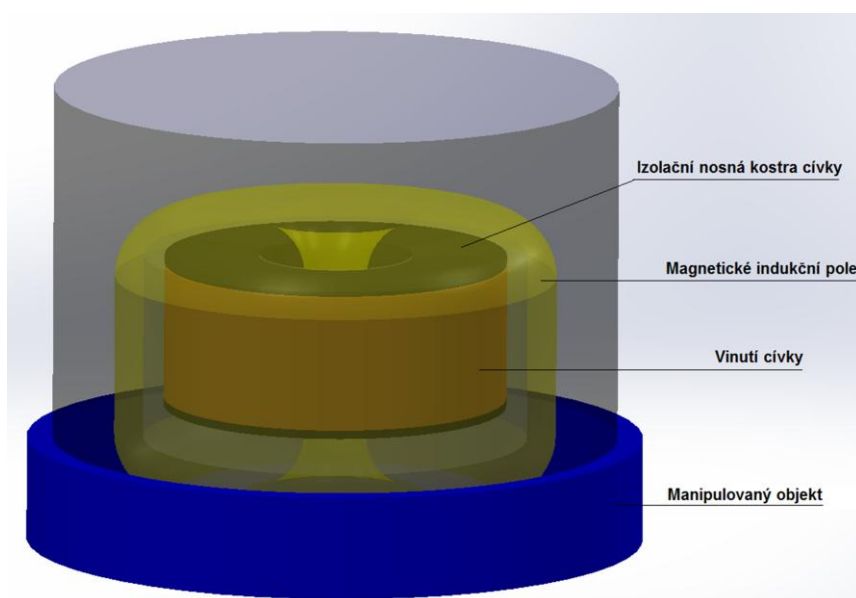
$$F_m := B \cdot I \cdot l$$

F_m magnetická síla [N]

B magnetická indukce [T]

I proud procházející cívkou [A]

l délka vodiče [m]



Obr. 5.1 Stavba elektromagnetického efektoru [2]

5.2 Efektory s permanentními magnety

Efektory s permanentními magnety nevyžadují pro svou činnost, na rozdíl od efektorů s elektromagnety, žádný přívod elektrické energie. Tento fakt je výhodou v případech, pokud je nutné efektor užít v explozivním prostředí kvůli absenci vzniku jisker. Nevýhodou je však problém s uvolněním součásti, která je problematická z důvodu permanentního působení magnetického pole, a proto často dochází k posunutí součásti. Proto nejsou permanentní magnety vhodné pro přesnou manipulaci. Celková uchopovací síla permanentních magnetů může dosahovat hodnot 100-200 kN/m². [2]

5.3 Výhody a nevýhody magnetických efektorů

Mezi výhody patří:

- jednoduchá stavba efektoru bez pohyblivých částí
- možná variabilita manipulovaných objektů z hlediska hmotnosti a rozměrů
- dosažení vysokých uchopovacích sil
- možnost uchopení objektů s dírami, které je problematické u vakuových efektorů
- nevznikají třecí ztráty

Mezi nevýhody patří:

- použitelné pouze pro feromagnetické materiály
- přerušení přívodu energie vede k uvolnění součásti (elektromagnetické)
- potřebná dlouhá doba pro uvolnění součásti z důvodu zbytkového magnetického pole
- možnost vyklouznutí součásti při manipulaci ve vysokých rychlostech
- olej na povrchu součásti může snižovat uchopovací sílu
- ulpívání kovových třísek na efektoru [18,2]



Obr. 5.2 Použití magnetického efektoru [26]

6 SENZORY

Stejně jako člověk dokáže reagovat na své okolí pomocí svých smyslů a tomu přizpůsobovat své další chování, mají senzory za úkol získávat informace ze svého okolí a na jejich základě vykonávat či nevykonávat rozdílné operace. Základním účelem senzorů je tedy získávání takové zpětné vazby a její implementace do řízení automatizovaného systému, v našem případě robotu.

Senzory můžeme rozdělovat podle různých kritérií, např. podle toho, zda senzor přijde do přímého kontaktu s objektem na dotykové a bezdotykové. Mezi dotykové senzory patří senzory působící síly či kroutícího momentu a mezi bezdotykové například senzory indukční, kapacitní, optické magnetické nebo ultrazvukové.

Oba tyto typy senzorů lze taktéž rozdělit na měřicí a přepínací. Přepínací senzory mají za úkol podat zpětnou vazbu typu ano/ne, např. zda-li bylo dosaženo určité pozice, jestli působí určitá síla nebo zda je objekt uchopen. Tyto typy jsou hojně používány u chapadel manipulačních efektorů, neboť předchází povinnosti programovat otevírací/zavírací časy pro uchopení a také jsou často nezbytným bezpečnostním prvkem vzhledem k tomu, že nesprávné objektu může vést k jeho upuštění či kolizi mající za následek škody jak na součásti, tak i na efektoru. [2, 3]



Obr. 6.1 Magnetický senzor Schunk [8]

7 VELETRH HANNOVER 2013

Vzhledem k tomu, že jedním z cílů této práce bylo nastínit současný stav vývoje manipulačních efektorů průmyslových robotů, bude jedna z kapitol v této práci věnována poznatkům z veletrhu v Hannoveru věnovanému automatizaci a řízení, který se uskutečnil ve dnech 8.-12.4.2013

7.1 Roboty KUKA LWR

Stále rostoucí konkurence v odvětví robotiky vede k novým řešením a rozšiřování do oblastí, které dříve nebyli pro nasazení robotu realizovatelné. Jedním z těchto případů je spolupráce robota s člověkem v oblasti montáže a finální kompletace výrobků, kdy robot podává, drží a jinak manipuluje s komponenty, které člověk dále kompletuje. Až doposud však byla problematická otázka bezpečnosti takové kooperace, a proto nebyla tato část výrobního procesu nijak automatizována.

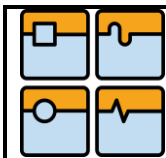
V rámci své expozice uskutečnila společnost KUKA, jeden z největších výrobců průmyslových robotů, výstavu nového robotu Kuka LWR (lightweight robot). Jedná se o nový typ robotu, který vznikl ve spolupráci firmy Kuka s firmou Mercedes-Benz a byl primárně vyvinut pro finální montáž v automobilním průmyslu či spotřební elektronice.

Tento robot s celkovou nosností 7kg, respektive 14kg podle typu robotu, disponuje 7 stupni volnosti a je vybaven integrovanými senzory krouticího momentu v každém rameni, které i při maximální rychlosti robotu zastaví proces při kolizi s cizím předmětem o síle nepřesahující 2N. Kontrolní jednotka tohoto robota dále umožňuje jeho vychýlení ze zadané trajektorie fyzickou změnou jeho polohy operátorem, díky čemuž lze změnit orientace pro montáž či on-line učení celé operace. Robot je navrhnut bez ostrých hran, které by vytvářeli potenciálně nebezpečné situace při kolizi s člověkem.

K využití vysoké adaptability tohoto robota, jeho relativně vysoké ceně dosahující 86 000 EUR a nasazení v montážním provozu vyžadujícím vysokou bezpečnost se předpokládá využití elektrických manipulačních efektorů, které mohou splňovat požadavky na vysokou adaptabilitu a bezpečnost. [29]



Obr. 7.1 Robot KUKA LWR [21]



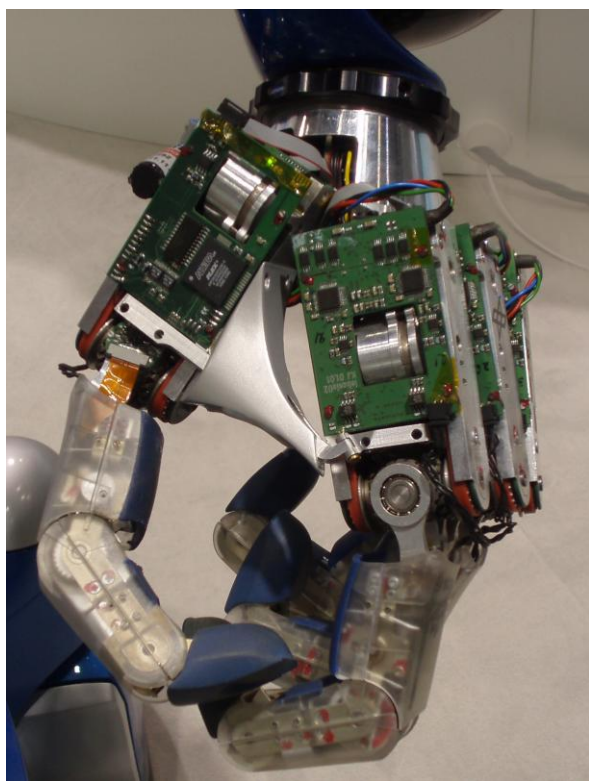
7.2 Humanoidní efektory

Vývoj koncových efektorů napodobujících tvar a funkce lidské ruky sahá až do 80. let 20. století. Jedná se o velmi komplexní druhy efektorů, často obsahujících integrované senzory a speciální typy aktuátorů. Tyto efektory disponují velkou adaptibilitou a přesností, avšak z důvodu velmi vysoké ceny je jejich přínos prozatím spatřován spíše v oblasti výzkumu a vývoje než v oblastech aplikace v průmyslu.

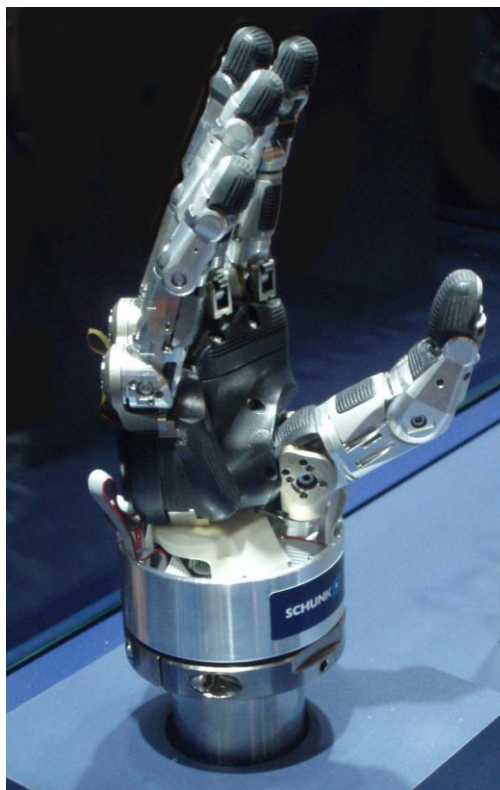
Vzhledem k vývoji nových typů robotů, jako je např. LWR od firmy KUKA, pro spolupráci s člověkem však lze očekávat využití know-how při vývoji humanoidních efektorů i pro běžné průmyslové aplikace, a to právě vzhledem k vysoké adaptibilitě a bezpečnosti.

Mezi tyto efektory patří např. chapadlo od společnosti Schunk (obr.7-3), obsahující 9 stejnosměrných motorů, senzory krouticího momentu a dotykové senzory nebo chapadlo DLR (obr.7-2) z německého výzkumného centra robotiky a mechatroniky s 10 stejnosměrnými motory a 16 senzory na každém prstu.

Současná cena chapadla společnosti Schunk je cca 50 000EUR, což je asi 20ti násobně více než za standardní elektrické chapadlo. [8, 20, 30]



Obr. 7.2 5-ti prstý efektor DLR (vlevo) [veletrh Hannover 2013]



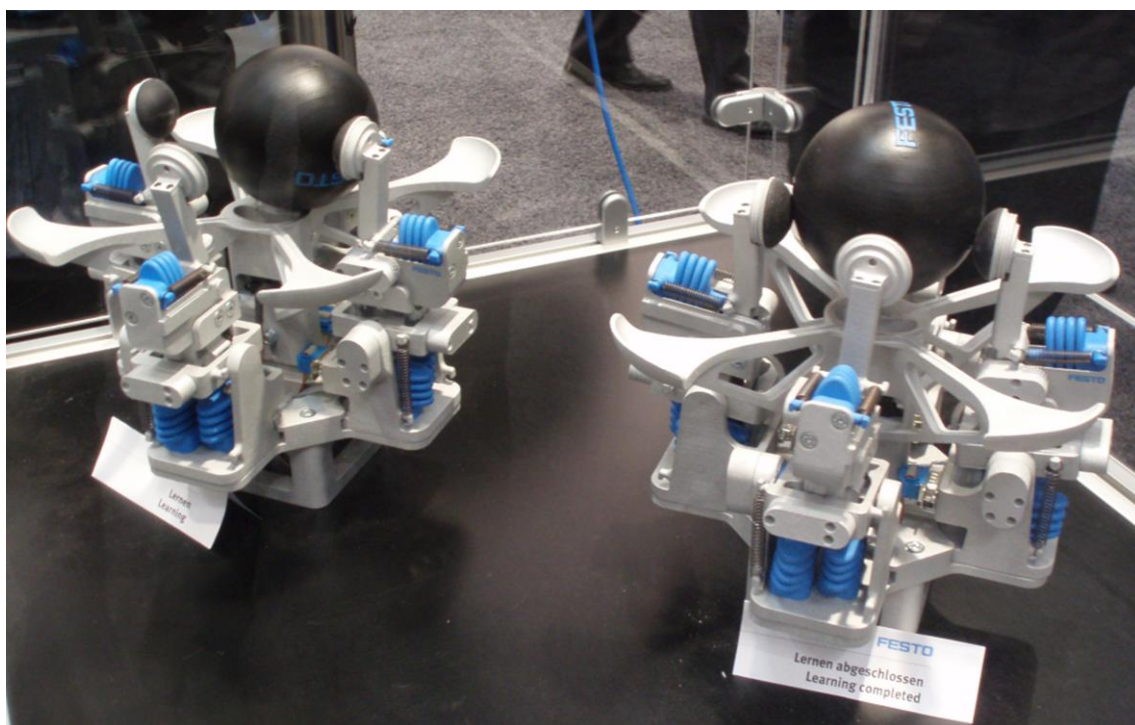
Obr. 7.3 5-ti prstý efektor Schunk (vpravo) [veletrh Hannover 2013]



7.3 Inteligentní úchopná hlavice

Oblast strojového učení je jednou z velmi zajímavých oblastí budoucnosti automatizace. Jedná se o metody, jakými zjednodušit programování určitých operací tím, že pomocí předem definovaných algoritmů se, v tomto případě manipulační efektor, „učí“ vykonávat určitý pohyb bez předem definovaného programu pouze na základě optimalizace svého pohybu pomocí zpětné vazby od různých senzorů. Chapadlu je tedy předem řečeno, co má udělat a způsob, jakým to má udělat, si samo vytvoří pomocí tohoto procesu.

Společnost Festo představila návrh svého inteligentního pneumatického chapadla, které disponuje 4 prsty a celkem 12 stupni volnosti. Jeho úkolem je naučit se v co nejkratším čase umístit balónek s obdélníkovým znakem libovolně vložený do oblasti chapadel tak, aby tento znak směřoval vertikálně nahoru. Celý učicí proces zabere tomuto chapadlu necelou hodinu. [19]



Obr. 7.4 Inteligentní úchopná hlavice Festo [19]

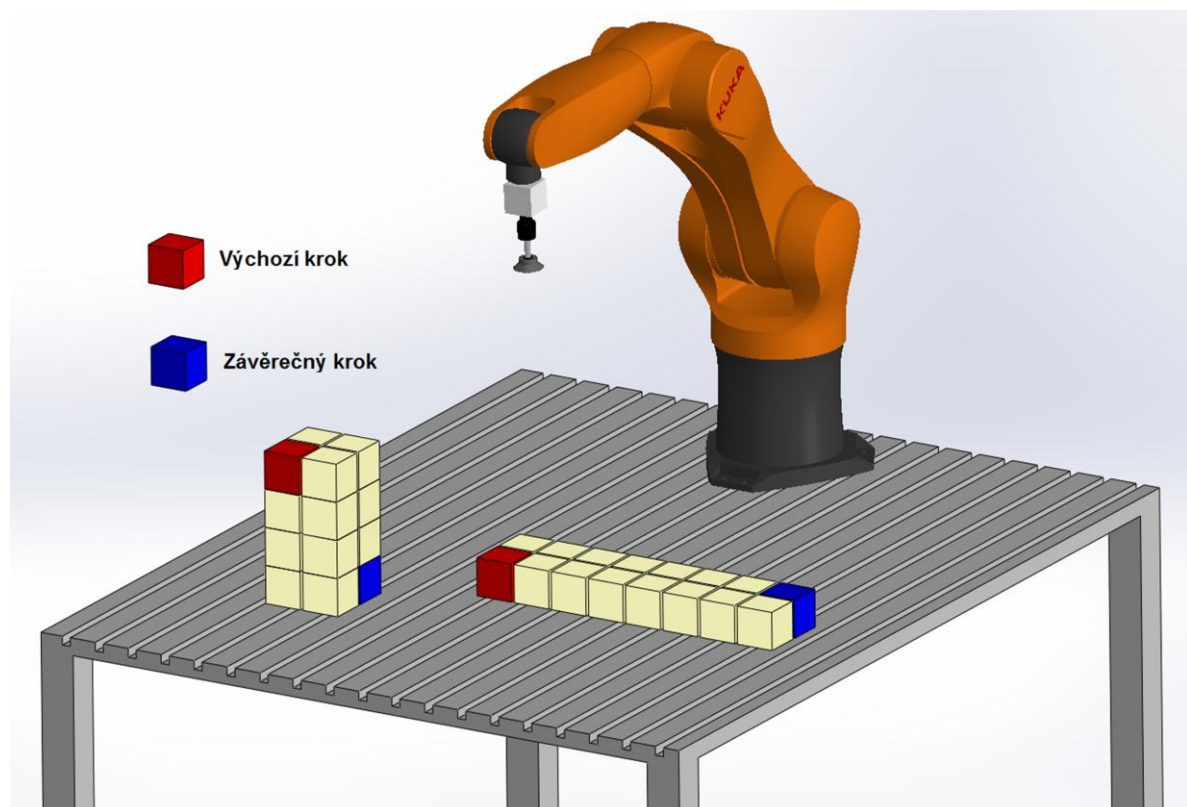
8 MANIPULAČNÍ ÚLOHA

Náplní praktické části této práce je zhotovení manipulační úlohy s užitím průmyslového robotu KUKA KR C3 a vakuového efektoru s plochou přísavkou a odpruženým zdvihem. Výstupem je zdrojový kód programu, viz příloha.

8.1 Popis úlohy

Je dán stoh plastových kostek s rozložením 2x2x4 s geometrií krychle o hraně 40 mm. Úkolem robotu je efektivně přeskládat toto rozložení na rozložení 2x8 pomocí vakuového efektoru. Při přechodu z výchozí do koncové pozice je kostka otočena o 90° kolem osy z.

Na obrázku je znázorněno schéma pracoviště. Červená kostka zobrazuje první krok v cyklu, při kterém robot odebere kostku z horní řady stohu a položí ji na místo červené kostky na druhý stoh dolů. Cyklus pokračuje, dokud nejsou všechny kostky přeskládány.

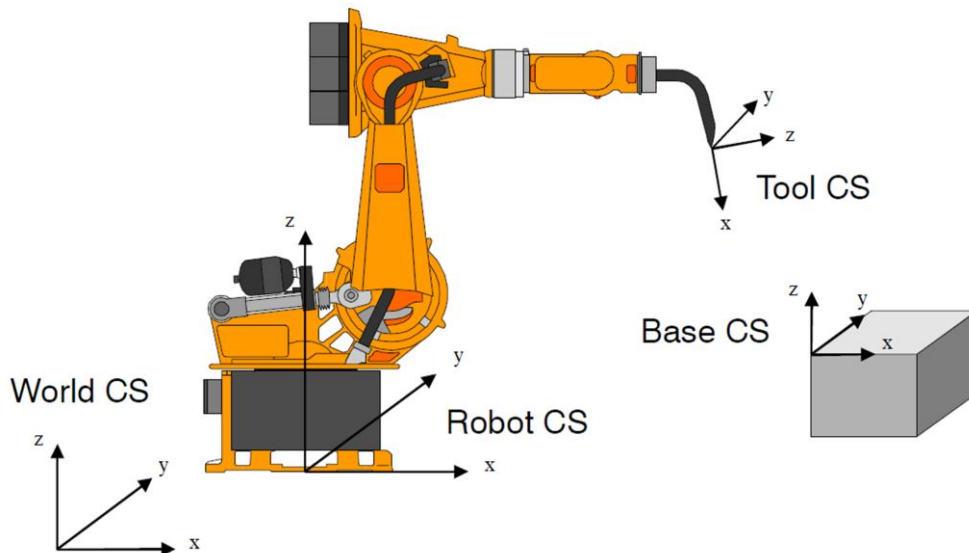


Obr. 8.1 Schéma pracoviště (model robotu[28])

8.2 Příprava programu

Robot defaultně disponuje čtyřmi druhy souřadných systémů, od kterých dále odvíjí svůj pohyb. Jedná se o souřadné systémy \$WORLD, \$ROBROOT, \$TOOL a \$BASE. Souřadný systém \$WORLD, nebo-li světový souřadný systém je pevně dán výrobním nastavením, stejně jako systém robota \$ROBROOT, který však lze předefinovat. [6]

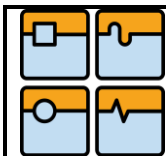
Pro manipulační úlohu je nutné nadefinovat systém nástroje \$TOOL, který určuje pozici konce chapadla vzhledem k šesti ose robotu a báze \$BASE, která bude určovat výchozí bod pro zadávání dalších souřadnic. Ta byla zvolena v levém dolním rohu prvního stohu kostek a je definována se souřadnicemi [X 0, Y 0, Z 0, A 0, B 0, C 0].



Obr. 8.2 Souřadné systémy robotu [6]

8.3 Seznam proměnných

- *Counter* je definována, stejně jako ostatní proměnné, v intervalu celých čísel (integer). Počítá počet cyklů hlavního programu, což znamená počet přeskládaných kostek. Jakmile je jeho hodnota větší než 16, automaticky se vrací zpět na hodnotu 1.
- *Pozice* je proměnná definovaná pro proceduru depaletizace a nabývá hodnot $\langle 1, 16 \rangle$. Přiřazuje souřadnice jednotlivým pozicím kostek, které mají být v daném cyklu odebrány.
- *Pozice2* je definovaná pro procedury odkladání a nabývá hodnot $\langle 1, 16 \rangle$. Přiřazuje souřadnice jednotlivým pozicím kostek, které mají být v daném cyklu umístěny. Číselně se v každém cyklu shoduje s proměnnou „Pozice”.
- *Mezi_pozice* je definovaná pro proceduru depaletizace a nabývá hodnot $\langle 1, 4 \rangle$. Přiřazuje souřadnice jednotlivým výchozím polohám, na které robot najede před najetím nad stoh kostek z důvodu možné kolize kostek a efektoru při přímém najetí z polohy depaletizace.
- *Radek1* nabývá hodnot $\langle 1, 2 \rangle$ a je proměnnou cyklu procedury depaletizace, který přiřazuje [X] souřadnici výchozímu bodu pro manipulaci v jednotlivém cyklu.
- *Sloupec1* nabývá hodnot $\langle 1, 2 \rangle$ a je proměnnou cyklu procedury depaletizace, který přiřazuje [Y] souřadnici výchozímu bodu pro manipulaci v jednotlivém cyklu.
- *Rovina1* nabývá hodnot $\langle 1, 4 \rangle$ a je proměnnou cyklu procedury depaletizace, který přiřazuje [Z] souřadnici výchozímu bodu pro manipulaci v jednotlivém cyklu.
- *Radek2*, *sloupec2* jsou proměnné procedury odkladání s hodnotami $\langle 1, 2 \rangle$ pro souřadnice [X] a $\langle 1, 8 \rangle$ pro souřadnice [Y].

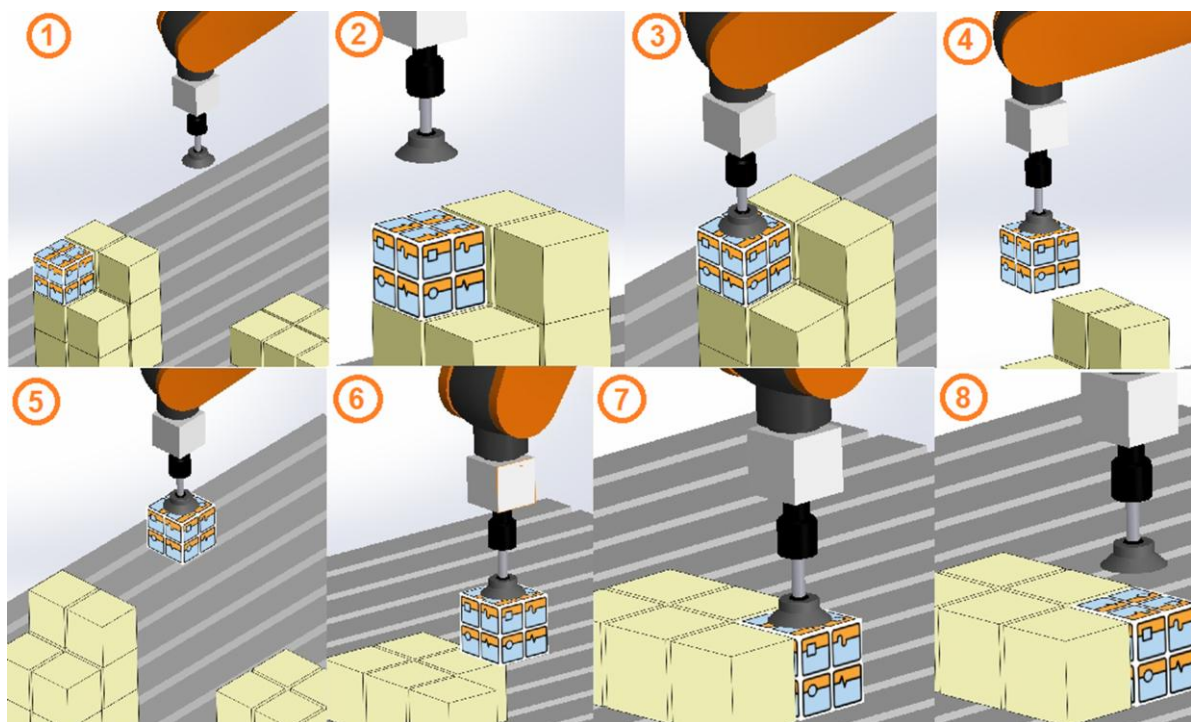


8.4 Seznam vstupů a výstupů

- tlačítko_spusteni \$IN[19]: vstup pro analogové tlačítko, jehož stisknutím začne běžet hlavní program
- VAKUUM \$IN[18]: vstup pro tlakový senzor, který poskytuje zpětnou vazbu o uchopení objektu
- \$OUT[1], \$OUT[2]: výstupy pro pneumatický kompresor, spínají tvorbu podtlaku

8.5 Hlavní program

Hlavní program sestává z jednoho cyklu IF a procedur depaletizace a odkládání. Tím realizuje samotný manipulační proces s následujícími kroky:



Obr. 8.3 Jednotlivé kroky manipulační operace [27]

- 1 Najetí do mezipozice
- 2 Přejezd z mezipozice nad kostku
- 3 Najetí na kostku a vytvoření podtlaku v přísavce [Z 62]
- 4 Vyjetí nad okolní kostky [Z -62]
- 5 Najetí do mezipozice
- 6 Přejetí nad odkládací místo
- 7 Sjetí dolů a přerušení tvorby podtlaku v přísavce [Z 62]
- 8 Vyjetí nahoru nad kostku [Z -22]

Cyklus se opakuje do té doby, dokud je splněna podmínka pro čítač Counter<17.



8.6 Procedury

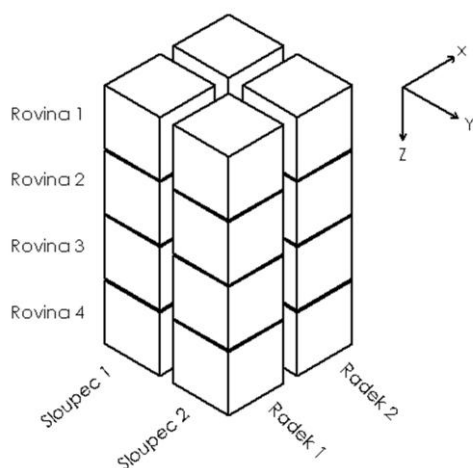
Procedury jsou součástí hlavního programu a definují určitou posloupnost kroků, které mají proběhnout.

8.6.1 Procedura depaletizace

Základním prvkem této procedury je 3D pole o velikosti $[2,2,4] \sim [\text{radek}, \text{sloupec}, \text{rovina}] \sim [X, Y, Z]$, které definuje souřadnice počátečního bodu manipulace kroku (viz krok 2) pro všech 16 kostek. Pro načtení jednotlivých souřadnic do 3D pole bylo užito tří cyklů FOR. Pro najetí do jednotlivých pozic byl užit přepínač SWITCH.

Dalším prvkem je 1D pole o velikosti $[4]$, které definuje souřadnice mezipozice pro jednotlivé roviny stohu kostek. Přepínání mezi jednotlivými mezipozicemi je realizováno přepínačem SWITCH a v závislosti na hodnotě proměnné Pozice.

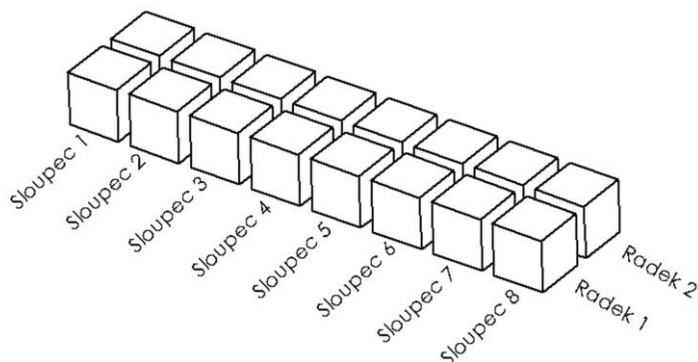
Procedura depaletizace obsahuje podproceduru prisati, která spouští tvorbu podtlaku.



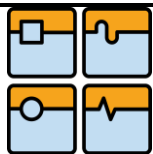
Obr. 8.4 Schéma 3D matice

8.6.2 Procedura odkladani

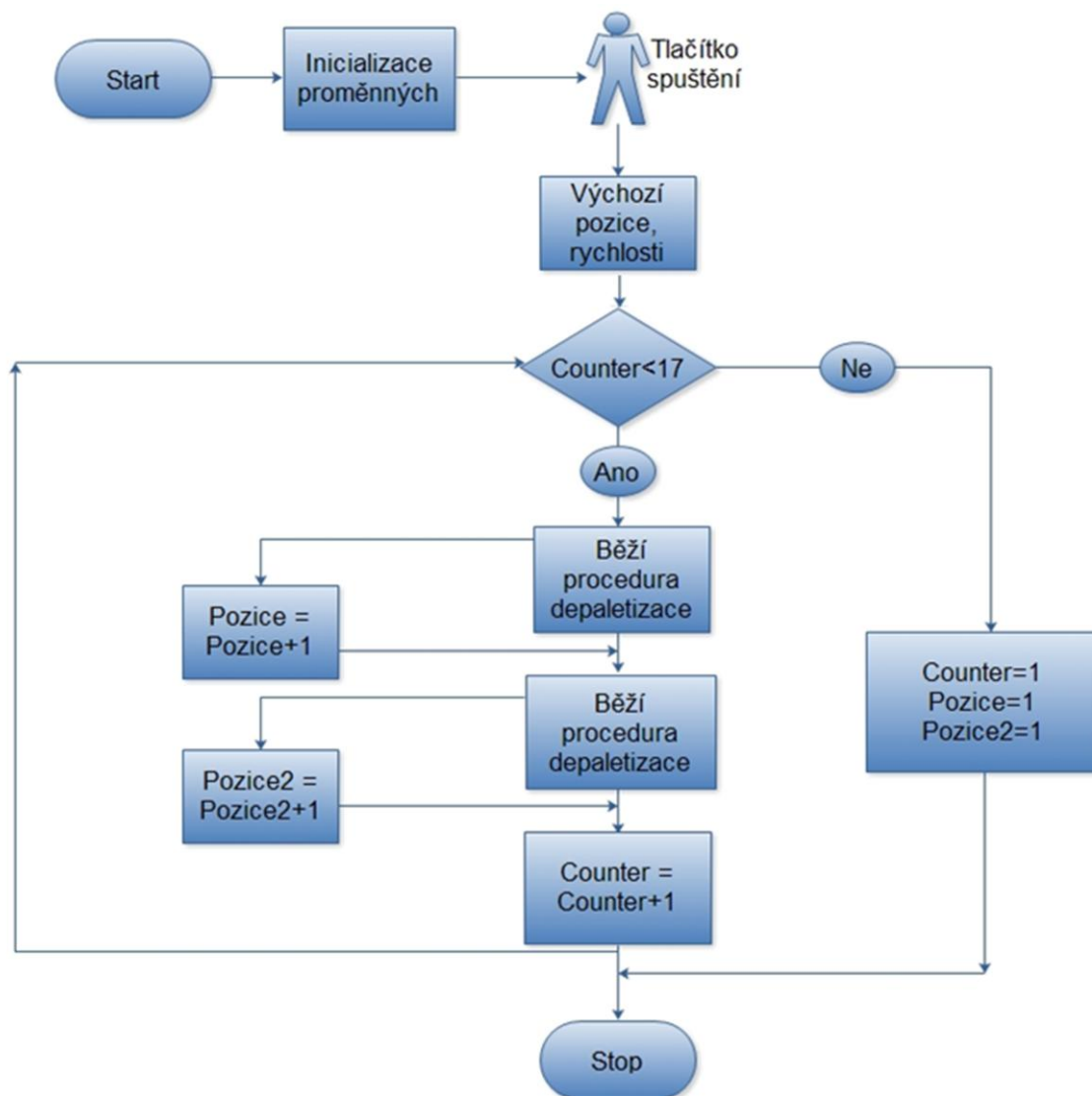
Procedura odkladani obsahuje 2D pole o velikosti $[2,8] \sim [\text{radek}, \text{sloupec2}] \sim [X, Y]$, které definuje souřadnice odkládacího rastru pro 16 kostek. Je řešena stejným způsobem jako předchozí procedura depaletizace. Součástí procedury je i podprocedura uvolnění, která zastavuje tvorbu podtlaku.




Obr. 8.5 Schéma 2D matice



8.7 Vývojový diagram



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

9 ZÁVĚR

Stále rostoucí automatizace a robotizace průmyslových pracovišť umožňuje rychlý vývoj manipulačních efektorů

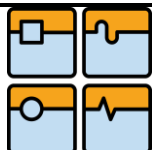
Manipulační efekторы se díky rychlému vývoji průmyslové robotiky těší stále většímu zájmu. Vzhledem k tomu, že je kladen stále větší důraz na flexibilitu výroby, je vhodný výběr manipulačního efektoru a jeho periférií důležitou součástí navrhovacího procesu robotizovaného pracoviště. Manipulačních efektorů existuje několik různých druhů pracujících na odlišných principech a poskytujících odlišné spektrum výhod a nevýhod a také množství doplňkových modulů, jež je možno užít ke zlepšení jejich funkčnosti. Detailní znalost jejich fungování, rozdílů a možností je proto důležitým aspektem při efektivním návrhu celého pracoviště. V této práci bylo pojednáno o nejpoužívanějších typech těchto efektorů, s hlavním důrazem na elektrické a pneumatické.

Pneumatické efekторы jsou tradičním druhem efektorů, opírajících se o mnohaletou tradici v jejich používání. Jejich hlavní výhodou je zejména jednoduchá konstrukce, nenáročná instalace a provoz, rychlost a především velmi výhodná cena. Základní nevýhodou jsou však omezené možnosti řízení, vyplývající z fyzikálních vlastností stlačeného vzduchu jako pracovního média a také nutnost instalace jeho rozvodů. V počátcích průmyslové robotiky však neexistovaly takové možnosti řízení, které známe dnes, a proto tento nedostatek nebyl brán jako zásadní problém.

Se vzrůstajícími požadavky na flexibilitu řízení úchopných operací efektorů však došlo k rozvoji elektrických efektorů. Tyto efekторы, poháněné elektrickým motorem, mají neoddiskutovatelné výhody týkající se rozsahu možnosti jejich řízení a také čistoty provozu. Nevýhodou je však stále jejich několikanásobně vyšší cena, a proto se jejich užití vyplatí zejména pro takové aplikace, které vyžadují manipulaci s objekty různých tvarů, materiálů a tuhostí. Jednoduše tam, kde použití pneumatického efektoru není přijatelné nebo efektivní. Budoucí trendy robotiky, jako je např. užití robotu při spolupráci s člověkem při vysoce flexibilních operacích, však předpokládají rychlý rozvoj elektrických efektorů.

Praktická část této práce dala vzniknout programu pro řízení průmyslového robotu KUKA KR C3 s využitím vakuové přísavky. Bylo nutné nejdříve analyzovat danou operaci a zvolit vhodný postup pro zvolení tvorbu programu. Samotný program je založen na programovacím jazyku PASCAL, a proto bylo nutné si připomenout syntaxi tohoto jazyka a zjistit specifika syntaxe pro programování robota z přiloženého manuálu. Při tvorbě programu byla zvolena externí programovací platforma OrangeEdit, ve které vznikla pracovní verze programu. Poté bylo nutné vhodně nastavit jednotlivé parametry robota, jako je volba souřadnicového systému či volba rychlostí os. Celý program byl poté vyzkoušen v manuálním režimu pro odstranění možností kolize a zajištění jeho hladkého chodu. Finální verzi programu bylo možné automaticky spustit.

Při programování bylo vytvořeno více dílčích možností řešení, které by vedly k podobnému výsledku, avšak hlavním účelem užití robotu je jeho efektivita a flexibilita, a proto je nutné na to dbát i při tvorbě programu tak, aby bylo maximálně využito jeho potenciálu a zároveň bylo možné program bez větších problémů dále upravovat.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlin: Springer, 2005, 248 p. ISBN 35-402-5657-1.

[2] MONKMAN, Gareth J. *Robot grippers*. Weinheim: Wiley-VCH, c2007, x, 452 p. ISBN 978-352-7406-197.

[3] PIRES, J. N. *Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future*. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3.

[4] CECCARELLI, Marco. *Fundamentals of mechanics of robotic manipulation*. Boston: Kluwer Academic Publishers, c2004, xi, 310 p. ISBN 14-020-1810-X.

[5] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2013-05-18]. ISBN 978-80-248-1522-0.

[6] KUKA ROBOTER GMBH. *KUKA System Software: Expert Programming KR C2 / KR C3*. 5.2. Augsburg, 2006.

[7] International Federation of Robotics: statistical department. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.worldrobotics.org/>

[8] Schunk: Gripping systems. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: http://www.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products.html?product_level_1=244&product_level_2=250&product_level_3=0&country=INT&lngCode=EN&lngCode2=EN

[9] Schunk: Industry Solutions. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: http://www.schunk.com/schunk/schunk_websites/webcms/EN/1290079/381589?country=INT&lngCode=EN&lngCode2=EN


[10] Weiss Robotics: Gripping systems. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.weiss-robotics.de/>

[11] Fraunhofer: research organization. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.fraunhofer.de>

[12] Geyosoft: Computer and electrical engineering. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.geyosoft.com/>

[13] When is it More Efficient to Use Electric Actuators and When Are Pneumatics Better?. In: *NFPA* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.nfpa.com/events/pdf/2012_eehpc/ppt/08_guajardo-electric%20vs.%20pneumatic.pdf

[14] Energy efficiency depends on the application: Electric and pneumatic drives in a precise comparison. *FESTO* [online]. 2013, s. 4 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.festo.com/net/no_no/SupportPortal/Details/280103/PressArticle.aspx

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

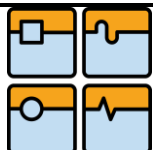
- [15] PONOMAREVA, Elena. Hydraulic and Pneumatic Actuators and their Application Areas. 2006, s. 24. Dostupné z: <http://www14.informatik.tu-muenchen.de/konferenzen/Jass06/courses/5/Papers/Ponomareva.pdf>
- [16] Vakuumtechnik: Vakuum pro automatizaci. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.vakuumtechnik.cz/>
- [17] Schmalz: Vakuum-komponenten Katalog. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.schmalz.com/>
- [18] Robot magnetic grippers. In: *Robotics Bible: Educates Everywhere* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.roboticsbible.com/robot-magnetic-grippers.html>
- [19] *FESTO: Products* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.festo.com/cms/nl-be_be/9460.htm
- [20] DLR: Robotics and Mechatronics Center. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.dlr.de/rm/en/desktopdefault.aspx/tabid-5471/>
- [21] KUKA Roboter is presenting a new robot generation at Automatica 2010. *METAL SUPPLY* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.metal-supply.com/announcement/view/7193/kuka_roboter_is_presenting_a_new_robot_generation_at_automatica_2010
- [22] Robotiq: Robotics Industry News, Applications and Trends. [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/>
- [23] Electronics Tutorial about DC Motors. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html
- [24] Vakuum-Komponente. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://de.wikipedia.org/wiki/Vakuum-Komponente>
- [25] Rail-guides DIN644. In: *Commons Wikimedia* [online]. [cit. 2013-05-21].
- [26] *Liftrite* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.liftrite.ie/products/steel_lifting_by_mech_grippers.asp
- [27] Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.uvssr.fme.vutbr.cz/>
- [28] TAHERNIA, Ehsan. Kuka industrial robot. In: *GRABCAD* [online]. 2013, 5.5.2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://grabcad.com/library/kuka-industrial-robot>
- [29] Informace poskytl Wilfried Eberhardt, technický konzultant firmy KUKA Robotics. Hannover. 11.4.2013.
- [30] Informace poskytl Andreas Brahner, obchodní zástupce firmy Schunk. Hannover. 11.4.2013.

11 SEZNAM SYMBOLŮ


Symbol	Jednotka	Popis
a	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení součásti
B	$[T]$	Magnetická indukce
F_a	$[N]$	Uchopovací síla
F_h	$[N]$	Hnací síla pístu
F_m	$[N]$	Magnetická síla
F_p	$[N]$	Přítlačná síla
F_v	$[N]$	Výstupní síla na hřídeli elektromotoru
g	$[ms^{-2}]$	Gravitační zrychlení
I	$[A]$	Elektrický proud
k	$[-]$	Součinitel bezpečnosti
l	$[m]$	Délka vodiče
m	$[kg]$	Hmotnost součásti
M	$[N \cdot m]$	Výstupní moment elektromotoru
m_s	$[kg]$	Hmotnost manipulované součásti
n	$[-]$	Deformační koeficient
p_e	$[Pa]$	Pracovní tlak
p_p	$[Pa]$	Podtlak ve vakuové přísavce
R_v	$[m]$	Poloměr výstupního hřídele elektromotoru
S	$[-]$	Součinitel bezpečnosti
S_p	$[m^2]$	Styčná plocha přísavky
S_v	$[m^2]$	Vnitřní plocha válce
z	$[-]$	Počet přísavek
α	$[^\circ]$	Úhel uchopovacích ploch chapadla
η	$[-]$	Účinnost
μ	$[-]$	Součinitel tření

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Časový diagram výroby součásti [1]	11
Obr. 1.2 Rozdělení využití robotů podle typu operace [22]	12
Obr. 2.1 Základní části robotického manipulátoru [1].....	13
Obr. 2.2 Silový a tvarový úchop – porovnání [1]	15
Obr. 2.3 Uchopovací prvky ze skleněného vlákna [8].....	16
Obr. 2.4 Využití metody konečných prvků [9]	16
Obr. 3.1 Prvky mechanického efektoru [2].....	18
Obr. 3.2 Antikolizní systém (vlevo) [1].....	19
Obr. 3.3 Výměnný systém (vpravo) [1]	19
Obr. 3.4 Rozdělení typů základních úchopů [4]	19
Obr. 3.5 Převod pohybovým šroubem (vlevo) a ozubeným převodem (vpravo) [2].....	21
Obr. 3.6 Schéma řízení efektoru [22]	22
Obr. 3.7 Efektor s integrovanou ovládací jednotkou (vpravo) [10].....	23
Obr. 3.8 Efektor s externí ovládací jednotka efektoru (vlevo) [8].....	23
Obr. 3.9 Řídící rozhraní pro elektrický efektor [8].....	23
Obr. 3.10 Řez elektrickým efektem Schunk MEG-40 [8, 25].....	24
Obr. 3.11 Adaptabilní efektor Schunk SDH [8]	25
Obr. 3.12 Pneumatický systém [12].....	26
Obr. 3.13 Proporcionální ventil (vpravo) [19].....	27
Obr. 3.14 Polohový senzor pneumatického válce (vlevo) [19]	27
Obr. 3.15 Pneumatický efektor Schunk MPG [8].....	28
Obr. 3.16 Solenoidový ventil Schunk [8]	29
Obr. 3.17 Pneumatický (vlevo) a elektrický (vpravo) efektor Schunk pro drobnou manipulaci [veletrh Hannover 2013]	31
Obr. 3.18 Elektrický efektor PEH (vpravo) [8]	32
Obr. 3.19 Pneumatický efektor PFH (vlevo) [8]	32
Obr. 3.20 Použití pneumatického efektoru při operaci pick-and-place (vlevo) [9].....	33
Obr. 3.21 Použití pneumatického efektoru v prostředí s vysokou teplotou (vpravo) [9]	33
Obr. 3.22 Manipulace s drobnou elektronikou (vpravo) [9].....	33
Obr. 3.23 Elektrický efektor pro manipulaci s těžkými součástmi (vlevo) [9]	33
Obr. 3.24 Životní cyklus výrobků v čase [11]	35
Obr. 3.25 Prodej robotů ve vybraných odvětvích v letech 2009-2011 [7]	35
Obr. 3.26 Hydraulický efektor Schunk [8]	36
Obr. 4.1 Energetická náročnost vakua [16]	37
Obr. 4.2 Schéma vakuového ejektoru [24]	38
Obr. 4.3 Měchové přísavky Schmalz (vpravo) [17]	39
Obr. 4.4 Ploché přísavky Schmalz (vlevo) [17].....	39
Obr. 4.5 Příklady použití vakuových efektorů [17]	39
Obr. 5.1 Stavba elektromagnetického efektoru [2].....	40
Obr. 5.2 Použití magnetického efektoru [26]	41
Obr. 6.1 Magnetický senzor Schunk [8]	42
Obr. 7.1 Robot KUKA LWR [21]	43
Obr. 7.2 5-ti prstý efektor DLR (vlevo) [veletrh Hannover 2013]	44
Obr. 7.3 5-ti prstý efektor Schunk (vpravo) [veletrh Hannover 2013].....	44
Obr. 7.4 Inteligentní úchopná hlavice Festo [19]	45
Obr. 8.1 Schéma pracoviště (model robotu[28])	46
Obr. 8.2 Souřadné systémy robotu [6].....	47


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Obr. 8.3 Jednotlivé kroky manipulační operace [27]	48
Obr. 8.4 Schéma 3D matice	49
Obr. 8.5 Schéma 2D matice	49

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Vliv manipulované součásti na manipulační operaci [1].....	14
Tab. 2.2 Vliv materiálů na součinitel tření [2].....	15
Tab. 2.3 Rozdělení efektorů podle druhu uchopení objektů [5]	17
Tab. 3.1 Základní rozdělení efektorů podle druhu kinematiky [2,8].....	20
Tab. 3.2 Srovnání efektorů Schunk MEG-40 a MPG-40 [8].....	30
Tab. 3.3 Srovnání efektorů Schunk PFH a PEH [8]	31

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

14 SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Program manipulační operace “Program_depaletizace.src” (přiložené CD)
- 2 Program manipulační operace “Program_depaletizace.dat” (přiložené CD)
- 3 Program manipulační operace (papírová verze)
- 4 Fotografie robotického pracoviště